М. А. КОТИК

# КУРС ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ

# КУРС ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ

М. А. КОТИК

# КУРС ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ

Издание второе, исправленное и дополненное

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования Эстонской ССР в качестве учебника для студентов Тартуского государственного университета по специальности психология

ТАЛЛИН · «ВАЛГУС» 1978

15
К 73

Художественное оформление В. Ершова

**Котик М. А.**

К 73 Курс инженерной психологии. — 2-е изд., испр. и доп. — Таллин: Валгус, 1978. — 364 с., ил.

Книга является существенно переработанным и дополненным изданием ранее опубликованного «Краткого курса инженерной психологии» (Таллин, 1971). В ее основу положен курс лекций по инженерной психологии, прочитанный в Тартуском государственном университете за последние 10 лет. Книга предназначается для студентов психологического отделения университета и технических вузов, изучающих данный курс. Она может быть полезна специалистам в области психологии, эргономики, кибернетики и др., занимающимся изучением, проектированием и практическим применением систем «человек—машина».

К $\frac{30501-366}{M\,902(16)-78}$ 51—77 15

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Вопросы инженерной психологии в последние годы приобрели большое значение не только в психологической науке, но в некоторой степени стали определяющими и в развитии техники. Практический опыт показал, что техника — орудие труда человека — может давать необходимый эффект только тогда, когда она в должной мере согласована с его психофизиологическими возможностями. Поэтому интерес к инженерной психологии — науке, призванной для такого согласования, предопределила практическая необходимость: без использования знаний этой области стало невозможным создание сложных систем управления, отвечающих требованиям современности.

Вопросами инженерной психологии серьезно занимаются научно-исследовательские институты и лаборатории, их учитывают проектно-конструкторские организации при создании человеко-машинных систем и эксплуатирующие — при их практическом применении. Все эти обстоятельства обусловили необходимость подготовки специалистов в области инженерной психологии, необходимость изучения этой дисциплины в технических вузах. Возникла потребность в учебниках и учебных пособиях по курсу инженерной психологии.

В 1969 г. нами было издано учебное пособие «Основы инженерной психологии», предназначенное для студентов психологического отделения Тартуского университета, а в 1971 г. — «Краткий курс инженерной психологии». Настоящая книга является существенно переработанным и несколько расширенным переизданием этого курса. За прошедшие годы появилось большое число новых исследований в области инженерной психологии, вышел ряд новых книг, отражающих ее отдельные аспекты; были выпущены общесоюзные стандарты, регламентирующие терминологию инженерной психологии и отдельные вопросы проектирования систем «человек—машина». Все эти данные были учтены в новом издании курса.

При его изложении мы старались отойти от лабораторного и фрагментарного подхода к анализу психических процессов, при-

сущего отчасти экспериментальной психологии и перенесенного оттуда в инженерную психологию. Теоретической основой настоящего курса явилась теория предметной деятельности, успешно развиваемая советской психологической наукой. Поэтому психические процессы и характеристики человека-оператора здесь рассматриваются по возможности в непосредственной связи с его задачами управления с учетом целей и условий деятельности, порождаемых ею эмоциональных проявлений и процессов саморегуляции. Использованию в инженерной психологии такого подхода в значительной мере способствуют особенности самой операторской деятельности — конкретность заданных в ней целей, четкая очерченность условий и жесткие ограничения способов их достижения. В настоящее время еще не сложилась единая общепринятая структура изложения проблем и вопросов, которые включает в себя эта дисциплина. Отдельные ее вопросы недостаточно изучены, по некоторым из них не выработалось еще единого мнения. Поэтому при составлении данного курса мы стремились представить в нем прежде всего те вопросы, которые уже утвердились в теоретическом или прикладном плане как наиболее существенные, по которым сложилась единая точка зрения. В курс включены и менее изученные вопросы, представляющиеся нам перспективными. Мы не старались ради стройности изложения представлять их решенными и сглаживать имеющиеся противоречия: мы излагали фактическое положение вещей, высказывая свое отношение к нему и не претендуя на окончательные решения. Для доказательства своей точки зрения в ряде случаев использовались результаты проведенных нами исследований.

Инженерная психология, в отличие от других отраслей психологической науки, обладает одной примечательной особенностью. Если психологу обычно достаточно вскрыть закономерность психической деятельности, то данные, полученные в инженерной психологии, должны быть еще доведены до формы, позволяющей использовать их для принятия конкретных практических решений по проектированию или усовершенствованию техники, решений по методам ее эксплуатации и подготовки операторов. Многие закономерности, обнаруженные в процессе инженерно-психологических исследований, требуется выражать количественно. По отношению к этому вопросу в данном курсе мы придерживались следующей точки зрения: для инженерной психологии наиболее существенно выявление самих психических закономерностей деятельности оператора, формализация же этих закономерностей является уже вторичной задачей, для решения которой в помощь психологу могут привлекаться специалисты математического и технического профиля. Поэтому при изложении данного курса основное внимание уделялось общим принципам, теоретическим подходам к выявлению искомых закономерностей, их обоснованию, а не описанию частных алгорит-

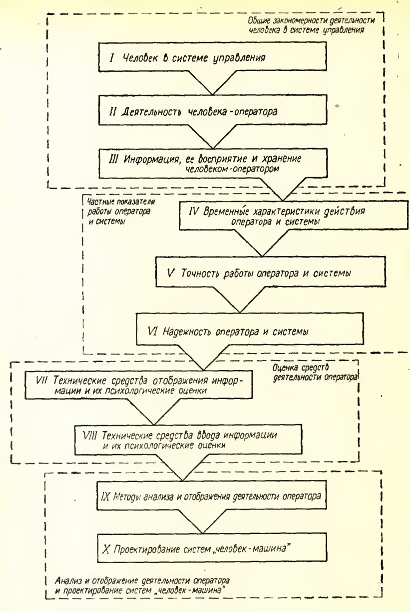



Рис. 0.1. Структурная схема построения курса.

мов деятельности оператора, реализуемых при решении отдельных задач управления.

При выборе структуры построения настоящего курса и последовательности изложения его материала мы руководствовались нашими предшествующими учебными пособиями по инженерной психологии, опытом лекций по этому предмету, прочитанных автором в Тартуском университете за последние 10 лет, советами коллег. Поскольку материал, излагаемый в «Курсе инженерной психологии», основывается на некоторых общих теоретических положениях психологии, кибернетики, теорий информации, измерения, надежности и пр., то для лучшего его понимания студентами как психологического, так и технического профиля главы курса начинаются специальными обзорными параграфами с изложением теоретических основ рассматриваемых в них проблем.

Последовательность изложения учебного материала в настоящем курсе для большей наглядности представлена в виде структурной схемы (рис. 0.1). В ней можно выделить четыре главных раздела. I, II и III главы курса посвящены изучению общих закономерностей деятельности человека в системе управления. В IV, V и VI главах рассматриваются отдельные показатели работы оператора и системы. В VII и VIII главах анализируются технические средства, с которыми непосредственно соприкасается оператор, с точки зрения их психологического соответствия его деятельности. В IX и X главах рассматривается применение ранее выявленных закономерностей, характеристик, показателей оператора и технических средств для описания и анализа деятельности оператора и для проектирования систем «человек—машина».

Следует отметить, что выделенные в настоящем курсе основные проблемы инженерной психологии не охватывают всех вопросов этой обширной области. Из-за ограниченности объема курса в него не вошли вопросы постановки инженерно-психологического эксперимента, групповой деятельности операторов, их обучения, профессионального отбора. Все эти вопросы важны в области инженерной психологии, но именно ими пришлось «пожертвовать», поскольку в общем виде они рассматриваются и в других курсах: в экспериментальной, социальной и педагогической психологии, в разделах психологии труда. Впрочем, даже в том случае, если бы все эти проблемы и были отражены в данном курсе, его все равно нельзя было бы считать достаточно полным, так как пока, из-за молодости инженерной психологии, не представляется возможным четко очертить круг тех вопросов, которые входят в эту область.

# Раздел I. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

## Глава I. Человек в системе управления

### 1.1. ИЗ ИСТОРИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ

Инженерная психология — это сравнительно молодая, но бурно развивающаяся область психологии, возникшая на грани с техническими науками. Ее появление принято связывать с научно-технической революцией, начавшейся в середине нашего столетия. Однако предпосылки рождения этой новой научной области были подготовлены всем предшествующим развитием науки и техники.

Веками психология развивалась в тесной связи с естественными, общественными и философскими науками и почти не касалась техники. Но около ста лет назад наметилась тенденция сближения психологии и с техникой. Этому способствовал ряд причин. Прежде всего, еще во второй половине прошлого столетия обнаружилось, что, учитывая психологические особенности трудового процесса, можно существенно повысить производительность промышленного труда. Во-вторых, распространившиеся в начале XX века психологические тесты способностей оказались хорошим средством отбора людей, пригодных для работы с военной и производственной техникой. Если к тому же учесть, что все эти годы развитие экспериментальной психологии шло по пути использования в ней все более точной и сложной техники эксперимента, то указанная выше тенденция сближения психологии со сферой техники станет очевидной. Поэтому уже ко времени начала научно-технической революции между психологией и техникой наметилось немало точек соприкосновения. Однако наибольшему их сближению способствовали причины, непосредственно связанные с этой революцией.

Наиболее существенной из них явился переход от машин, выполняющих только силовые и энергетические функции, к машинам, способным замещать психические функции человека, — воспринимать и преобразовывать информацию, решать задачи управления и контроля. Очевидно, что появлению таких машин, наряду с техническими науками, способствовала и психология, которая выявила данные о структуре и закономерностях этих функций. Поэтому становление научно-технической революции в

некоторый мере было обусловлено и развитием психологической науки.

Однако в большей мере здесь обнаруживается обратное влияние — влияние этой революции на развитие психологии. Прогресс техники в направлении создания машин, способных замещать человека при решении все более сложных мыслительных задач, предъявлял все большие требования и к психологической науке. В технике появились возможности не только замещать, но и моделировать с помощью электронно-вычислительных машин все более сложные психические процессы. Для реализации этих возможностей также нужны были знания о психических закономерностях человеческой деятельности. Все эти обстоятельства существенно изменили традиционные подходы, методы и критерии психологической науки. При этом они не только сблизили психологию со сферой инженерии, но и обусловили изменение некоторых основ этой науки.

Поэтому психология в современной системе наук оказалась локализованной, по словам М. Г. Ярошевского[1], уже внутри четырехугольника, углами которого явились естественные, общественные, философские и технические науки.

Научно-техническая революция выдвинула на передний план проблему применения техники нового типа. Подобная техника — электронно-вычислительные машины (ЭВМ), автоматизированные системы управления (АСУ) — в наше время проникла в самые разнообразные области народного хозяйства, науки. От эффекта ее практического применения стали непосредственно зависеть успехи в развитии этих важнейших областей. Следует отметить, что развитие техники шло не только по пути ее усложнения, но также и в направлении повышения ее качества и надежности работы.

Однако здесь конструкторы и другие специалисты, занимающиеся практическим использованием сложной техники, неожиданно столкнулись с явлением, когда весьма совершенные с точки зрения техники устройства при их применении на производстве, в военном деле не давали ожидаемого эффекта. И непосредственной причиной этого было большое количество ошибок, которое допускали люди, управляющие техникой. Все те преимущества, которые были достигнуты благодаря техническому усовершенствованию машин, практически часто сводились на нет неточными, несвоевременными действиями человека.

Первой реакцией на такое несоответствие была попытка исключить ошибки человека за счет еще большей автоматизации техники и замены в ней человека. В этот период происходило становление кибернетики, и вера в неограниченные возможности этой новой области науки порождала иллюзии, будто бы техника, доведенная до соответствующего уровня совершенства,

[1] Ярошевский М. Г. Психология XX столетия. М., 1971, с. 11.

сможет решать любые задачи, которые до этого решал человек. Однако от подобного подхода к разрешению возникшей проблемы вскоре пришлось отказаться, ибо практика показала, что техника способна замещать далеко не все функции человека. Даже там, где можно полностью заменить человека автоматом, делать это не всегда целесообразно.

Другим, более реальным путем разрешения этой принципиальной проблемы был анализ причин столь большого числа ошибочных действий человека при управлении новой техникой и поиск возможностей его уменьшения. И первый вопрос, который, естественно, возникал при этом, заключался в следующем: почему эта проблема не возникла раньше? Изучение его позволило вскрыть чрезвычайно важную особенность новой техники: эта техника делала возможным решение принципиально новых задач, но при этом создавала для взаимодействующего с ней человека *и принципиально новые условия труда.*

Присущие новой технике сложные быстротечные процессы с большим числом меняющихся параметров, которые нужно было контролировать и учитывать в ходе управления, требовали от человека такой скорости восприятия и переработки текущей информации, которая в некоторых случаях превышала его пропускную способность. Человек в процессе управления такими системами порой просто физически не мог справиться со всеми возникающими перед ним задачами. Если к тому же учесть, что подобные задачи приходилось решать в необычных условиях жизнедеятельности (например, на самолете в условиях перегрузок, недостатка кислорода и пр.), в условиях высокой ответственности за успех работы, высокой цены ошибки, то станет очевидным, сколь существенно изменились условия деятельности человека в новых системах управления.

Правда, человеку и ранее, при работе со старой, более простой техникой, приходилось сталкиваться с большим потоком информации, с ограничениями во времени, с необычными условиями жизнедеятельности. Однако благодаря большим приспособительным и творческим возможностям, свойственным человеку, ему удавалось успешно справляться со сложными ситуациями. Но компенсаторные возможности людей не безграничны. И когда появились технические устройства, в которых требования задач управления стали превосходить возможности человека, это несоответствие стало обнаруживаться в большом числе ошибок.

Таким образом, с появлением новых, современных технических систем обнаружился диалектический скачок, приведший к возникновению качественно новых условий работы — условий, при которых человек уже не мог даже при мобилизации всех своих компенсаторных возможностей успешно решать возложенные на него задачи. Отсюда следовал важный вывод: *причиной низкой эффективности новой техники являлся не человек,* кото-

рый своими ошибками препятствовал ее успешному применению, а *сама техника, которая была создана без учета психофизиологических возможностей управляющего ею человека и фактически провоцировала его ошибки.* Так возникла необходимость в специальном изучении психофизиологических особенностей деятельности человека в новых сложных технических системах, изучения его возможностей по разрешению возникающих в ней задач с целью учета этих данных при конструировании систем и подготовке операторов для управления ими.

Разрешение всех этих проблем только инженерными методами, естественно, было невозможно. Нельзя было непосредственно использовать для этого также данные, накопленные в психологической науке, поскольку сведения о психической деятельности человека в современных сложных системах управления просто отсутствовали, а имеющиеся в общей, экспериментальной и трудовой психологии данные нуждались в соответствующей переработке в связи с новыми задачами человека в современных системах и с необходимостью их проектирования.

*Так на грани психологической науки и техники возник целый комплекс специальных теоретических и прикладных проблем, без разрешения которых стало невозможно создание новых комбинированных систем «человек—машина», способных эффективно разрешать возложенные на них задачи.* Для решения этого круга проблем и сформировалось новое научное направление в психологической науке, получившее название инженерной психологии.

Инженерная психология — *область психологической науки, изучающая деятельность человека в системах управления и контроля, его информационное взаимодействие с техническими устройствами этих систем.* Основной задачей инженерной психологии является *выявление психических закономерностей деятельности человека в указанных системах с целью их учета при конструировании оборудования таких систем, подготовке людей для их управления и обеспечения таким образом наиболее эффективного их применения.*

В инженерной психологии изучается система «человек—машина», — система, включающая в себя человека (или группу людей) и машины, посредством которых осуществляется трудовая деятельность [2], причем здесь рассматривается главным образом *сложная система* «человек—машина», которую, в отличие от обычной, несложной системы, условимся определять по двум необходимым признакам. Во-первых, в такой системе человек контролирует состояние управляемого объекта и воздействует на него через дистанционные передачи. Поэтому его ин-

[2] Данное и все последующие стандартизированные определения излагаются в этой книге в соответствии с государственными стандартами СССР — ГОСТ 21033—75, 21034—75, 21035—75.

формация об объекте и способы воздействия на него оказываются более ограниченными, чем при непосредственном взаимодействии с объектом. Во-вторых, в сложной системе у человека нет заранее заданной жесткой программы действий, поскольку здесь обычно нельзя предвидеть, какие возникнут задачи, и нет однозначных способов их разрешения. Указанные и ряд других особенностей сложных систем (они будут дополнены далее) и определяют существенные отличия деятельности в них человека как объекта инженерно-психологических исследований, по сравнению с прочими системами «человек—машина», которые остаются объектом изучения трудовой психологии.

Наиболее значительные работы по инженерной психологии появились в США и Англии в середине 40-х гг. нашего столетия. Среди их авторов следует отметить известных психологов А. Чапаниса (A. Chapanis), К. Моргана (C. Morgan), Р. Слейта (R. Slight), К. Крейка (K. Craik). В начале 50-х гг. широкую популярность приобрели работы П. Фитса (P. Fitts), Дж. А. Миллера (G. A. Miller), Е. Мак-Кормика (E. Mc. Cormic) и др.

Отечественная инженерная психология начала развиваться в 50-х гг. Однако уже в 20-х гг. в советской психологии проводились исследования, которые носили явно выраженный инженерно-психологический характер: изучались различные органы управления, восприятие сигнальных знаков и пр. Так, Н. А. Бернштейн, ставший впоследствии выдающимся психофизиологом, изучал в те годы рабочее место вагоновожатого, Н. А. Эпле — авиационные индикаторы на приборной доске летчика. Первая в нашей стране лаборатория, начавшая изучение проблем современной инженерной психологии, была организована в 1959 г. в Ленинградском университете. Один из ее основателей Б. Ф. Ломов выпустил в 1963 г. первую отечественную монографию, систематизировавшую исследования по инженерной психологии[3]. В 1964 г. советская инженерная психология обогатилась основополагающими работами В. П. Зинченко, Д. Ю. Панова, А. Н. Леонтьева, В. Д. Небылицына и др.[4]

В развитии отечественной инженерной психологии обнаруживаются некоторые закономерности. До середины 60-х гг. ее исследования были направлены главным образом на анализ психофизиологических особенностей восприятия индикаторов, моторных действий, а также на выявление конструктивных ошибок в согласовании оборудования действующих систем с возможностями человека и на поиски научно обоснованных решений для их исправления. В середине и особенно в конце 60-х гг. в инженерной психологии обнаруживается стремление, с одной стороны, к объединению накопившихся к тому времени разрозненных исследований в единую систему, с другой — к поискам обобщенных оценок работы человека-оператора, функционирова-

[3] Ломов Б. Ф. Человек и техника. М., 1963. 464 с.
[4] Инженерная психология. [Сборник статей]. М., 1964. 369 с.

ния человеко-машинных систем и, в частности, к определению их надежности. С начала 70-х гг. по настоящее время наметилась тенденция к интеграции всех инженерно-психологических исследований в направлении разработки методов проектирования систем «человек—машина». Попутно выдвинулись проблемы анализа коллективной деятельности малых групп людей, осуществляющих совместное управление сложной системой, и учета их взаимодействия при проектировании системы, а также проблемы получения более разносторонних и обобщенных оценок функционирования систем «человек—машина» и деятельности в них человека — определения степени эффективности их работы.

Инженерная психология является отраслью психологической науки. Однако тесная связь с техникой и проектировочная направленность придают этой отрасли, по сравнению с другими отраслями психологии, особую специфическую направленность. И эта специфичность проявляется, в частности, в том, что задачи, которые решаются в данной области, являются не только задачами психологии, но и ряда других наук. Для лучшего понимания сущности инженерной психологии рассмотрим ее место в системе различных наук.

## 1.2. ИНЖЕНЕРНАЯ ПСИХОЛОГИЯ В СИСТЕМЕ НАУК

### 1.2.1. ИНЖЕНЕРНАЯ ПСИХОЛОГИЯ КАК ОТРАСЛЬ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКИ

Психология — наука о законах порождения и функционирования психического отражения индивидом объективной реальности в процессе деятельности человека и поведения животных. Основным объектом изучения психологии является человек, а предметом ее исследования — закономерности и механизмы его психики.

Объект инженерной психологии более узкий — здесь изучается человек-оператор, — *человек, осуществляющий трудовую деятельность, основу которой составляет взаимодействие с машиной, предметом труда и внешней средой посредством дистанционного управления.* Основным предметом инженерной психологии является изучение психических процессов, порождающих эту деятельность и обусловливающих ее результат. Инженерная психология изучает также психические состояния и психические свойства человека-оператора, но опять-таки главным образом с точки зрения их влияния на процесс и результат его деятельности. При этом выявление психических закономерностей для инженерной психологии не является конечной целью, а лишь промежуточным этапом на пути к созданию эффективных систем «человек—машина».

Уже само выделение человека-оператора в качестве объекта изучения инженерной психологии ограничивает область ее исследований не только определенным кругом видов деятельности, но и определенной категорией людей: в установленном диапазоне возрастов, здоровых, достаточно обученных, т. е. отвечающих требованиям пригодности к операторской деятельности.

Рассматривая место инженерной психологии среди других отраслей психологической науки, следует отметить, что само ее название нельзя признать удачным. Оно появилось как русский перевод принятого в США наименования этой области — Human Engineering (буквально «человеческая инженерия»). В наименовании отрасли психологии в русском языке прилагательное обычно используется для определения изучаемого в ней объекта. Так, спортивная психология понимается как психология спортсменов, военная психология — как психология военных и т. п. Поэтому под названием «инженерная психология» несведущий в этой области человек ошибочно понимает психологию инженеров. Следуя сложившейся традиции, вероятно лучше было бы назвать эту область «операторской психологией», однако при этом утратилась бы проектировочная направленность отрасли, которая воспринимается в существующем названии. Впрочем, наименование «инженерная психология» в наше время уже настолько укоренилось, что, несмотря на его недостатки, оно, очевидно, сохранится и в будущем.

Инженерная психология развивалась на основе психологии труда. Это обстоятельство особенно отразилось на советской инженерной психологии, которая формировалась на богатом опыте и традициях изучения человека в процессе трудовой деятельности, идущих еще от Центрального института труда, созданного в 1920 г. по инициативе В. И. Ленина, на традициях, ставящих своей целью, наряду с повышением качества и производительности труда, гармоническое развитие личности и повышение ее удовлетворенности своим трудом.

Тот факт, что труд человека-оператора является разновидностью производственного труда, иногда служит поводом к тому, чтобы рассматривать инженерную психологию как раздел трудовой психологии, занимающийся гуманизацией техники[5]. Однако подобный подход не учитывает принципиального различия задач, разрешаемых в той и другой отрасли. Если *трудовая психология* имеет основной целью повышение эффективности труда *за счет совершенствования уже созданной,* уже эксплуатируемой *техники,* то *инженерная психология* имеет целью *разработку психологических основ для проектирования и создания новой техники* с учетом «человеческого фактора», т. е. с учетом совокупности тех свойств человека-оператора, которые влияют на эффективность системы «человек—машина». К тому же по объему и ши-

[5] Платонов К. К. Вопросы психологии труда. М., 1970. 264 с.

роте исследований инженерная психология уже за несколько десятилетий своего существования значительно превзошла исследования, выполненные в различных областях трудовой психологии за сто лет.

Базой для развития инженерной психологии явилась и экспериментальная психология, разработавшая научные основы психологического эксперимента. Развитие инженерной психологии шло и идет в непосредственной связи с развитием общей, социальной, педагогической и дифференциальной психологии. При этом инженерная психология не только использует достижения этих отраслей, но и вносит свой вклад в развитие как этих отраслей, так и общей психологической теории.

Методы исследования, используемые в инженерной психологии, в значительной мере заимствованы из арсенала общей психологии, и лишь некоторые из них сформировались применительно к задачам новой области. К этим методам относятся: лабораторный и естественный эксперимент, изучение результатов деятельности оператора, моделирование работы оператора и всей системы «человек—машина». Как вспомогательные здесь могут использоваться метод наблюдения (самонаблюдения), метод бесед с операторами, метод экспертных оценок.

## 1.2.2. ИНЖЕНЕРНАЯ ПСИХОЛОГИЯ И ЭРГОНОМИКА

Инженерная психология непосредственно связана с эргономикой[6] — *наукой о законах труда.* Хотя психологическая сторона и оказывается весьма важной в трудовой деятельности человека, однако не только она одна влияет на ее течение и результат. На процесс и результат труда влияют также физиологические, гигиенические, эстетические и многие другие факторы. Поэтому, чтобы обеспечить эффективность деятельности человека в процессе труда, необходимо создавать такие конструкции инструментов, машин, такие условия деятельности, при которых возможно было бы учитывать и психологические, и физиологические, и гигиенические, и антропометрические, и эстетические и прочие особенности человека в труде. Иначе говоря, для создания достаточно совершенных инструментов, машин, позволяющих человеку эффективно трудиться, наряду с инженерными и психологическими знаниями, должны использоваться также знания из области физиологии, гигиены труда, динамической антропометрии, технической эстетики и других наук, изучающих человека в труде.

Таким образом, эргономика выступает как область, которая синтезирует в себе данные ряда наук, изучающих различные стороны трудовой деятельности. Однако она не является простой суммой знаний этих наук. *Эргономика* выступает как *интеграль-*

[6] Эргономика — от греч. ergon работа и nomos закон.

*ная наука о трудовой деятельности, имеющая целью обеспечить эффективность труда путем создания таких конструкций инструментов и машин, таких условий труда, которые являются оптимальными с точки зрения требований различных наук.* Под эффективностью здесь понимается не только производительность, качество и другие стороны труда, определяющие его рентабельность, но и удовлетворенность человека своим трудом, формирующее влияние труда на его личность. Прикладным «выходом» эргономики является научная организация труда (НОТ), которая основывается, наряду с эргономическими факторами, также на соображениях экономического и организационного порядка.

Особую актуальность эргономические исследования приобретают применительно к сложным системам «человек—машина», где для человека создаются трудные, порой весьма необычные условия деятельности. Из сопоставления целей и задач, стоящих перед эргономикой и инженерной психологией, следует, что *инженерная психология фактически решает частные задачи эргономики применительно к сложным системам «человек—машина»* и может в этом смысле рассматриваться как одна из ее областей. Нужно отметить, что удельный вес в эргономической науке отдельных составляющих ее областей в разных странах далеко не одинаков. Это обстоятельство обусловило различные трактовки предмета исследования эргономики. Так, во Франции и Польше, где широко изучается физиология труда, основой эргономики считают именно эту область. В Чехословакии, напротив, преобладают исследования по гигиене труда, в Болгарии — по динамической антропометрии и главным предметом эргономики считаются именно они. В Советском Союзе среди эргономических исследований наибольший удельный вес имеют работы по инженерной психологии. Это обстоятельство иногда служит поводом к отождествлению инженерной психологии с отечественной эргономикой. Подобное отождествление следует, конечно, рассматривать как весьма условное.

В современной эргономике можно выделить два этапа ее развития. До конца 60-х гг. эргономика развивалась по пути расширения и углубления исследования трудовой деятельности в рамках отдельных наук трудовой и инженерной психологии, физиологии труда, динамической антропометрии и др. В результате подобных исследований разрабатывались пути корректировки и усовершенствования различных сторон труда. К концу 60-х и началу 70-х гг. наметился переход от накопления данных в отдельных областях эргономики к созданию целостной теории проектирования систем деятельности. Начался, как отметил В. М. Мунипов[7], переход от *коррективной* эргономики к *проективной*.

Если ранее шло поочередное устранение недостатков системы отдельно по психологическому, физиологическому, гигиеническому

[7] Мунипов В. М. Эргономика и техническая эстетика. — «Техническая эстетика», 1969, № 7, с. 1.

и прочим несоответствиям и ее общее усовершенствование достигалось за счет суммарного эффекта всех корректировок, то теперь возникла задача уже не апостериорного исправления недостатков действующих систем, а априорного учета различных эргономических факторов при разработке и создании новых систем. Заметим, что именно в этот период и в инженерной психологии наметился переход от критики и корректировки недостатков существующих систем к учету психологических факторов в процессе системного проектирования.

### 1.2.3. ИНЖЕНЕРНАЯ ПСИХОЛОГИЯ И КИБЕРНЕТИКА

Кибернетика[8] — это наука об управлении, связи и переработке информации. Объектом ее изучения является сложная динамическая система, т. е. система, способная воспринимать и перерабатывать информацию, а также обмениваться ею, система, которая способна к развитию своих состояний. Подобные системы могут являться чисто биологическими, их популяциями, социальными, чисто техническими или смешанными, например система «человек—машина». Последние системы, в которых человек выступает в качестве центрального управляющего компонента, принято называть автоматизированными, в отличие от автоматических, где человек осуществляет в основном лишь функции установки программы и контроля. Предметом кибернетики являются процессы управления, происходящие в сложных динамических системах.

Таким образом, из определения кибернетики как науки, определения ее объекта и предмета исследования можно заключить, что система «человек—машина» относится к категории кибернетических объектов, а психические процессы деятельности человека по управлению системой (именно всей системой, поскольку человек-оператор в процессе целенаправленной деятельности управляет не только машиной, но и самим собой) в общем виде могут явиться предметом изучения кибернетики. Причем именно в общем виде, поскольку кибернетика изучает лишь наиболее общие объективные закономерности процессов управления, не вторгаясь в решение конкретных задач, присущих отдельным наукам (и тем более психологии, где, наряду с объективными, изучаются и субъективные процессы).

Любую кибернетическую систему схематически можно представить в виде двух блоков: управляющего и объекта управления, между которыми циркулирует информация по прямой и обратной связи. Системы, изучаемые в инженерной психологии, можно также изобразить в виде двух блоков — блока человека (субъекта управления) и блока объекта управления, включающего в себя предмет труда и машину — его орудие (рис. 1.1).

[8] Кибернетика — от греч. kybernētikē искусство управлять.

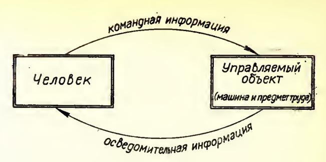



Рис. 1.1. Схема обмена информацией в системе «человек—машина».

От человека к объекту управления по линии прямой связи поступает командная информация, а от этого блока к человеку по обратной связи — осведомительная. Наиболее существенным в действии такой системы является тот факт, что человек здесь выступает не просто как ретранслятор информации, поступающей к нему от управляемого объекта, — выбором командного воздействия он вносит в управляемую систему свою дополнительную информацию.

Например, шофер, обнаруживающий, что скорость движения автомашины превышает допустимую, может снизить ее разными путями. Если нет особой срочности, он может поставить в нейтральное положение переключатель скоростей (т. е. отсоединить мотор от привода колес). Если нужно срочно погасить скорость, он может одновременно с отключением привода нажать на тормоз. Если требуется погасить скорость на скользкой дороге, шофер станет тормозить, не отключая привода. Возможность достижения цели разными способами, которая имеется у шофера в рассматриваемом примере, делает его задачу неопределенной. Разрешение ее и заключается в выборе оптимального способа действия, наиболее соответствующего сложившимся условиям. При этом чем большую неопределенность, возникшую в системе, будет разрешать шофер, тем большим окажется объем информации, вносимой им в систему управления, т. е. информативность человека-оператора в системе может оцениваться по его способности разрешать задачи той или иной степени неопределенности.

Кибернетическая наука выдвинула и объединила понятия «система», «управление», «информация», «обратная связь», без которых не могла бы существовать инженерно-психологическая теория. Более того, она породила новые области знания, способствующие углублению этих понятий. Одной из таких областей является *Общая Теория Систем,* цель которой состоит в создании абстрактной методики, пригодной для описания систем любой природы: биологических, технических, социальных и т. п. Инже-

нерная психология иногда рассматривается как одна из главных составных частей Общей Теории Систем[9].

На базе основных понятий о системе, ее свойствах, взаимодействии систем и применения к ним принципов диалектического материализма в наше время в науке сформулировался системный подход. Сущность его заключается в следующем: путем рассмотрения данного объекта (явления) в системах различных отношений, в которые он (оно) вступает, и в его развитии представляется возможным получить более полную систему знаний о данном объекте (явлении).

Такой подход оказался весьма актуальным для инженерной психологии, где человек — сложная система — выступает как компонент другой большой системы («человек—машина»), а та, в свою очередь, решает задачи системы еще более высокого уровня. Кроме того, деятельность человека в такой системе может рассматриваться как процесс функционирования его как физической, биологической, психологической системы и воздействия на все эти системы социальной, технической, экономической, космической и прочих систем извне. Функционированием перечисленных выше систем в той или иной мере оказываются обусловленными и отдельные действия человека-оператора, подчиненные данной деятельности. Поэтому нельзя до конца объяснить поведение оператора или какое-либо его действие в отрыве от этих систем.

Перечень примеров, подтверждающих необходимость использования в инженерной психологии системного подхода, можно было бы еще продолжить. Однако для развития инженерной психологии не столько важны подобные примеры и доказательства пользы системного подхода, сколько его практическое приложение.

Продуктивность применения системного подхода к анализу деятельности человека-оператора и, в частности, к оценке ее результата — надежности его работы — была доказана в нашем исследовании[10].

В этом исследовании было показано, что надежность работы оператора, обусловленная действием многих разнородных систем, может быть выражена через два основных показателя (временны́х и точностных ограничений), которые позволяют одновременно учитывать психофизиологические возможности человека (вытекающие из его личных данных, профессиональных качеств, состояний, условий деятельности и пр.), технические особенности машины и решаемой посредством ее задачи. С помощью указанных показателей представляется возможным также учитывать влияние на надежность оператора его инфор-

[9] Л. Берталанфи. Общая теория систем — критический обзор. — В кн.: Исследования по общей теории систем. М., 1969, с. 23—82.

[10] Котик М. А. Саморегуляция и надежность человека-оператора. Таллин, 1974. 167 с.

мационных процессов и эмоциональных проявлений, вызванных данной деятельностью, и принимать во внимание его эвристические возможности. Часть этих материалов будет представлена в IV, V и VI главах настоящего курса. А пока можно заключить, что кибернетические принципы в значительной мере отражаются на теоретических методах инженерной психологии, способствуют ее развитию и решению стоящих перед ней задач.

### I.2.4. ИНЖЕНЕРНАЯ ПСИХОЛОГИЯ, ЕЕ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ

На основе проведенного рассмотрения места инженерной психологии среди ряда наук можно заключить, что во всех этих областях знания она выступает как научное направление, изучающее психическую деятельность человека-оператора. Это служит дополнительным подтверждением того, что инженерную психологию следует рассматривать как отрасль психологической науки, на структуре, принципах и методах которой отразилась ее тесная связь с эргономикой и кибернетикой, а также ее проектировочная направленность. Выделим основные *принципы,* на которых базируются исследования отечественной *инженерной психологии.*

1. Психика человека-оператора изучается в неразрывной связи с целями, которых он достигает в системе управления, с целями, которых он достигает посредством системы, а также в связи с условиями их достижения и ожидаемыми результатами.

2. Психика человека-оператора формируется и раскрывается в процессе его предметной деятельности, поэтому при изучении ее учитывается прошлый опыт, выполняемая деятельность и ожидаемые результаты.

3. Взаимодействие человека и машины изучается с позиций системного подхода — на основе анализа разнообразных связей, существующих между этими компонентами системы, а также взаимодействия этих компонентов и самой системы с другими системами.

4. Изучение работы системы «человек—машина» осуществляется на основе анализа информационного взаимодействия ее компонентов; синтез таких систем осуществляется посредством оптимизации циркулирующих в них информационных потоков.

5. Результаты инженерно-психологических исследований должны по возможности доводиться до соответствующего уровня формализации, позволяющего использовать их для проектирования или оценки системы.

*Методы исследования* инженерной психологии, как уже отмечалось, в основном заимствованы из арсенала психологических наук. Однако, с учетом специфических задач, решаемых инженерной психологией, они в большей мере направлены на выявле-

ние количественных показателей деятельности оператора, на ее моделирование и использование всех этих данных в ЭВМ.

Количественные описания деятельности человека в системе управления особенно нужны потому, что они позволяют выражать «человеческий фактор» в тех же показателях, в каких выражается работа машинного компонента и всей системы в целом. При этом открываются большие возможности для использования обычных процедур технического проектирования при разработке систем «человек—машина», для анализа и расчетов ее результирующих показателей. Следует отметить, что анализу взаимодействия человека и машины в единой системе управления могут способствовать и другие способы формального выражения действия этих компонентов — описания их в виде символов или определенных структур.

Однако наиболее существенным в инженерной психологии является не столько форма описания той или иной характеристики деятельности, сколько адекватность такого описания. Чтобы правильно описать ту или иную психическую закономерность, ее требуется прежде всего выявить и познать. Поэтому *в инженерной психологии наибольшее значение придается именно познанию психических закономерностей,* обусловливающих деятельность человека-оператора.

Когда же трактовку и описание психических явлений пытаются давать не на основе научных результатов психологического исследования, а путем прямого, недостаточно обоснованного переноса на человеческую деятельность некоторых законов работы техники, получаются математические модели, весьма далекие от тех процессов, на описание которых они претендуют. В таких случаях основной этап инженерно-психологического исследования — этап выявления содержания изучаемого явления — подменяется волюнтаристским решением типа: «примем человека как интегрирующее (или дифференцирующее, запаздывающее и т. п.) звено». Подобные модели, как отметил А. Н. Леонтьев, могут создавать только иллюзию достоверности отдельных эмпирических результатов.

Следует заметить, что в инженерной психологии открываются особенно большие возможности для формализованных описаний деятельности человека. В изучаемой здесь деятельности человек решает довольно ограниченный круг технических задач, а его действия оказываются жестко детерминированными извне техническими условиями. В то же время для операторской деятельности отбирается определенный круг людей, психофизиологические показатели которых отвечают соответствующим требованиям. Все эти обстоятельства способствуют как ограничению числа существенных психологических переменных, определяющих поведение операторов, так и уменьшению различий в их поведении. А это, в свою очередь, дает бóльшие основания для формализо-

ванного описания психических закономерностей деятельности человека-оператора.

Таким образом, можно заключить, что связь инженерной психологии не только с ее исходной наукой — психологией, но и с эргономикой и кибернетикой оказывается для нее весьма полезной. И вообще сам факт, что инженерная психология оказалась частью ряда довольно несхожих наук — как бы «слугой трех господ», не только не ведет к разобщению этой области знания, а, напротив, способствует ее обогащению за счет междисциплинарных связей. Так, эргономика обогащает инженерную психологию путем привнесения в нее данных из биологических наук, а кибернетика укрепляет ее средствами и методами точных наук.

## I.3. ЧЕЛОВЕК КАК КОМПОНЕНТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

### I.3.1. ОСОБЕННОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

Деятельность человека-оператора сложной системы «человек—машина» характеризуется рядом специфических особенностей. Отметим главные из них.

1. С усложнением систем управления и расширением сферы разрешаемых ими задач расширились и функции оператора в этих системах. В настоящее время человеку-оператору вменяется в обязанность выполнение ряда разнообразных и часто несходных между собой функций (наблюдение, управление, запись показателей работы системы в журналы, переговоры по телефону и пр.). В такой деятельности особенно высоки требования к ее организации, планированию, распределению внимания, контролю.

2. В сложной системе управления между человеком и управляемым объектом «вклиниваются» системы дистанционной передачи: по одной линии оператор получает информацию о состоянии объекта и системы управления, по другой с помощью органов управления воздействует на систему, на объект. В таких условиях человек может судить о состоянии управляемого объекта, основываясь главным образом на тех ограниченных данных, которые он получает по дистанционной передаче, к тому же в закодированной форме; возможности его воздействия на объект также ограничены выведенными к нему органами дистанционного управления.

3. В современной сложной системе управления нагрузка на различные сенсорные[11] каналы восприятия человека распреде-

[11] Сенсорный (от лат. sensus чувство, ощущение) — чувствующий.

ляется неравномерно. Если при непосредственном контакте с предметом труда человек может воспринимать и оценивать его по зрительному, слуховому, тактильному и другим каналам восприятия, то при дистанционном управлении он лишается возможности такого полного многомодального восприятия. Здесь основная нагрузка ложится обычно на зрение, и этот канал зачастую оказывается перегруженным.

4. Во многих сложных системах человеку приходится работать в условиях жестких ограничений по своевременности и точности действий, когда даже минимальное запаздывание с ответным действием или его недостаточная точность ведет к недостижению заданной цели. Для таких систем характерна высокая цена ошибки — здесь неправильные действия человека часто влекут за собой тяжелые последствия, большой ущерб. В подобных системах возможны резкие изменения условий труда — от расслабляющей монотонности до ситуаций, требующих экстренных решительных действий для спасения людей, техники. Поэтому деятельность оператора в сложной системе управления оказывается порой весьма ответственной, а следовательно, и эмоционально напряженной.

5. Операторам некоторых сложных систем «человек—машина» приходится находиться и работать в совершенно необычных условиях жизнедеятельности. Наиболее ярким примером здесь может служить деятельность оператора космического корабля, который работает в ограниченном жизненном пространстве в состоянии невесомости или при больших перегрузках, сенсорной изоляции и многих других необычных факторах.

### 1.3.2. О ПОДХОДЕ К ЧЕЛОВЕКУ КАК КОМПОНЕНТУ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В инженерной психологии при анализе структуры системы «человек—машина» удобно рассматривать человека как компонент системы управления. При этом действия человека анализируются совместно с работой технических устройств системы. Такое рассмотрение следует расценивать как чисто условное — как искусственный метод, позволяющий соотносить столь разнородные составляющие данной системы, какими являются человек и машина. Здесь мы исходим из основной предпосылки данного курса о том, что *человек* является *центральным компонентом этой системы,* а *машина* — лишь *орудием* его *деятельности.* Именно с таких позиций и будет вестись дальнейшее сопоставление этих компонентов. В связи с рассмотрением человека как компонента системы может возникнуть целый ряд принципиально важных вопросов. Допустимо ли рассматривать на одном уровне две такие разные по своей природе, по действиям, по возможностям, по характеристикам составляющие системы «человек—машина»? Допустимо ли применять для

оценки человека те же критерии, которые используются для оценки технических устройств?

Остановимся последовательно на отдельных возражениях, которые могут возникнуть по этому поводу.

а) Первое возражение заключается в следующем: при рассмотрении человека как компонента системы «человек—машина» мы как бы «вырываем» его из социальной среды и включаем в искусственные рамки отдельной технической системы.

Однако в системе рассматривается не абстрактный оператор, а человек, сформировавшийся под воздействием социальной среды, которая, естественно, будет отражаться на его поведении в системе и управляющей деятельности. Здесь оператор рассматривается как человек, использующий технические компоненты системы — машину и ее оборудование — в качестве орудий труда и выполняющий таким образом свои социальные функции. Эти особенности человека-оператора принимаются во внимание при анализе его действий как компонента системы.

б) Техническое устройство действует по вполне определенной, заранее заданной однозначной схеме, и его действие можно всегда описать алгоритмом. Управляющие же операции человека оказываются весьма неопределенными — одна и та же цель, в зависимости от условий деятельности, здесь может достигаться с помощью различных операций. Возникает сомнение, можно ли столь по-разному действующие компоненты ставить в один ряд и рассматривать совместно?

Ответ на это возражение мог бы быть следующим. Действие человека движимо целью, т. е. соответствующим представлением, сформировавшимся в его сознании и определяющим направленность и программу его поведения. Но направленностью действия обладают и технические устройства — автоматы, которые также действуют по определенной программе (правда, заданной им заранее человеком). В наше время уже существуют такие автоматы, которые способны не только ретранслировать поступающую к ним информацию, но и разносторонне оценивать ситуацию и выбирать из многих вариантов оптимальный способ действия, внося тем самым дополнительную информацию в систему. Если не вдаваться в принципиальное различие физической природы направленности человека и автомата (которое в данном рассмотрении не является решающим), то можно заключить, что указанное замечание также не может служить препятствием к совместному рассмотрению в единой схеме человека и машины.

в) Техническое устройство в системе управления реагирует только на определенный комплекс сигналов, и на его выходе существует некоторый конкретный набор ответных действий. Человек же воспринимает бесконечное множество сигналов и располагает бесконечным числом вариантов ответных действий.

Такая разнородность действий может препятствовать их совместному рассмотрению.

Однако при этом не принимается во внимание тот факт, что оператор в сложной системе управления получает дистанционно от индикаторных приборов весьма ограниченный набор сигналов и его возможности воздействия на управляемый объект также технически лимитированы. Если к тому же учесть, что оператор в своих управляющих действиях ограничен инструкциями и правилами, то легко заключить, что и это возражение может быть опровергнуто.

г) И последнее, наиболее существенное возражение против рассмотрения человека как компонента системы управления заключается в следующем. Каждое техническое устройство в данный момент имеет вполне определенную передаточную функцию, связывающую его входной и выходной сигналы. Если это устройство заменить любым другим исправным устройством той же марки, то передаточная функция этого компонента системы сохранится. Передаточная же функция у каждого человека своя. Она зависит от особенностей его высшей нервной деятельности, от его профессиональных, личностных качеств и существенно изменяется в зависимости от отношения человека к задаче, от степени его мотивации к ее разрешению, от его психического и физического состояния и других трудно учитываемых факторов. Такая большая изменчивость «передаточной функции» человека делает этот компонент столь неопределенным, столь отличным от остальных, технических компонентов, что может утратиться смысл их совместного рассмотрения.

Чтобы ответить на этот вопрос, следует обратиться к теории индивидуального стиля, развиваемой в советской психологии В. С. Мерлиным, Е. А. Климовым [12] и их последователями. Сущность этой теории состоит в следующем: в большинстве видов деятельности (к которым человек пригоден) люди с разными свойствами нервной системы оказываются способными достигать достаточно высоких результатов за счет выработки своих индивидуальных стилей деятельности. У человека обычно имеются определенные природные качества, которые полезны для данной деятельности, и какие-то качества, которые препятствуют ее успешности. В процессе тренировки могут быть выработаны способности компенсации отрицательных для данной деятельности природных качеств и более полного использования положительных природных качеств.

Так, например, высокая лабильность нервных процессов является положительным качеством оператора, но в то же время это качество порой порождает поспешность действий, а следовательно, и дополнительные ошибки, что уже является

[12] Климов Е. А. Индивидуальный стиль деятельности. Казань, 1969, 278 с.

его недостатком. Люди с малой лабильностью нервной системы имеют худшие скоростные качества, но зато реже допускают ошибки за счет поспешности.

В процессе тренировки в данной деятельности происходит формирование индивидуального стиля, что способствует уменьшению различий в результатах деятельности людей того или другого типа. Операторы с малой лабильностью вырабатывают соответствующие компенсаторные качества (повышенную чувствительность к сигналам, бо́льшую внимательность и др.), которые позволяют им действовать так же своевременно, как и операторам с высокой лабильностью. Люди же с высокой лабильностью, благодаря тренировкам, становятся более сдержанными, научаются быстро обнаруживать и исправлять свои ошибки и действовать не только своевременно, но также достаточно правильно и точно.

Благодаря такой направленности человека на активное использование своих преимуществ в данной деятельности и выработку компенсаторных механизмов для парирования свойственных ему недостатков, происходит нивелирование на высоком уровне результатов работы людей с различными особенностями нервной системы. Таким образом, выработка индивидуального стиля является процессом адаптации человека к машине, идущим навстречу тенденции приспособления машины к человеку. Следует отметить, что теория индивидуального стиля разработана главным образом применительно к таким видам действия, где существующие ограничения не препятствуют формированию индивидуального стиля. И хотя деятельность человека-оператора является довольно детерминированной, у людей, пригодных к данной профессии, обычно остаются достаточно широкие возможности для приспособления к этой деятельности в соответствии с их индивидуальными особенностями.

Итак, внутренние различия операторов, пригодных и подготовленных к данной деятельности, при положительной мотивации к ее выполнению будут сравнительно мало отражаться на их выходных показателях. Следовательно, и возражение, основывающееся на неопределенности «передаточной функции» человека и различии его выходных результатов, также является несостоятельным. Многочисленные эксперименты, проведенные с различными операторами в естественных и лабораторных условиях, свидетельствуют о значительной общности их выходных характеристик деятельности. Этому обстоятельству в немалой степени способствует также единство существующих методов обучения и тренировки операторов. Поэтому выходные характеристики компонента «человек» системы управления оказываются достаточно сходными и могут описываться и анализироваться теми же статистическими методами, которые используются для оценки технических устройств. Статистические показатели работы человека-оператора представляется возмож-

ным апроксимировать и выражать их функциональные связи в виде графиков и алгоритмов.

Итак, проведенный анализ показывает, что человека можно рассматривать как компонент системы управления. Однако при этом всегда следует помнить, что это компонент совсем иного рода, который отличается от ее технических компонентов не только по своей природе, но и по тем возможностям, по тем задачам, которые он оказывается способным разрешать.

Теперь рассмотрим пример функционирования оператора в системе «человек—машина». Подобные системы могут быть незамкнутыми и замкнутыми. В незамкнутой системе человек только запускает машину, и этим его функция завершается (например, артиллерист произвел расчеты, прицелился, выстрелил — и таким образом завершил свою деятельность). В замкнутых же системах «человек—машина», которые изучаются в инженерной психологии, деятельность человека организуется на основе информации, поступающей по линии обратной связи; здесь человек обычно выступает и как приемник информации, и как ее преобразователь, и как регулятор системы. Разберем управляющую деятельность человека-оператора в замкнутой системе.

На рис. 1.2 изображена блок-схема замкнутой системы «человек—машина». На ней представлен человек-оператор, который посредством системы дистанционного управления (индикаторных приборов с их датчиками и органов управления с преобразованием команд) так воздействует на управляемый объект, чтобы получать от него в заданном количестве и качестве выходной продукт. Системы «человек—машина», работа которых направляется деятельностью человека-оператора (его целями, выбранными соответственно его потребностям и мотивам), можно отнести к системам, которые Р. Аккоф (R. Ackoff) и Ф. Эмери (F. Emeri) назвали целеустремленными[13]. Особенность таких систем заключается в том, что они способны при изменении внешних условий путем изменения структуры (в данном случае — структуры деятельности оператора) достигать заданной цели.

О состоянии управляемого объекта и показателях выходного продукта оператор судит по индикаторным приборам. Пока показания приборов находятся в норме и свидетельствуют о том, что управляемый объект функционирует в соответствии с заданной программой, оператор осуществляет только контроль за работой системы. Отклонение показаний одного или нескольких индикаторных приборов от нормы является сигналом о появлении в работе системы отклонения от заданной программы и необходимости вмешательства оператора в управление. Чтобы устранить возникшее нарушение оптимальным спо-

[13] Аккоф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах. М., 1974. 270 с.

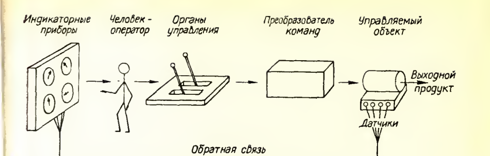



Рис. 1.2. Блок-схема замкнутой системы «человек—машина».

собом, оператор должен соотнести показания о нарушении с показаниями остальных индикаторов и, исходя из их связи, сделать вывод о состоянии управляемого объекта и динамике его изменения, затем актуализировать в памяти возможные способы устранения подобных нарушений и выбрать из них вариант, наиболее подходящий для сложившейся ситуации. Этот вариант оператор реализует соответствующим перемещением органов управления и по индикаторным приборам контролирует процесс устранения нарушения и приведения системы к заданному программой состоянию. Если введенное управляющее воздействие не дает желаемых результатов, то оператор анализирует отклонение фактического процесса от ожидаемого и изыскивает другие пути согласования управляемого процесса с заданной программой и так далее, вплоть до приведения параметров системы к установленной норме.

При описании рассматриваемой блок-схемы мы расчленили управляющую деятельность человека-оператора на процессы контроля, восприятия нарушения, поиска способа его устранения, моторных действий по реализации избранного способа действий и контроля за их результатами. Если оператор будет выполнять все эти действия поочередно, развернуто во времени, то его реакция на возникшее нарушение, очевидно, будет *отсроченной.* Подобным образом оператор действует в тех случаях, когда возникает совершенно необычное, незнакомое ему нарушение, для устранения которого у него не выработаны навыки управления. Для большинства же нарушений, возникающих в системе управления, у оператора выработаны соответствующие автоматизмы их обнаружения и устранения. Поэтому перечисленные действия оператора чаще всего оказываются свернутыми во времени и сжатыми в едином управляющем акте, что проявляется в его *немедленном реагировании* на обнаруживаемые нарушения.

Рассмотренный пример иллюстрирует такую деятельность оператора, которую можно определить как *деятельность по устранению нарушений,* возникающих в управляемом объекте, в системе. Подобная деятельность присуща многим операторским профессиям: операторам по управлению технологическими процессами, операторам водительского профиля (летчикам, шоферам) и др. Однако данный пример можно трактовать и шире — не просто как деятельность по устранению отдельных рассогласований, но и как *деятельность по выдерживанию заданной программы* работы системы. В таком случае принцип действия изложенной схемы будет охватывать еще более широкий круг операторских профессий — он может быть применен также к операторам, осуществляющим руководство движением, операторам по обнаружению сигналов и пр. Все они управляют системой, перестраивают ее и фактически устраняют отклонения ее режима работы от заданной программы.

## 1.4. ВОЗМОЖНОСТИ И ФУНКЦИИ ЧЕЛОВЕКА И МАШИНЫ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

### 1.4.1. ВОЗМОЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКА И МАШИНЫ

При анализе работы сложных систем «человек—машина» большой интерес представляет вопрос, насколько целесообразно организовано в них взаимодействие человека с техническими компонентами. В качестве технических компонентов таких систем в наше время выступают весьма совершенные автоматы и вычислительные устройства, способные разрешать сложные задачи, возникающие в системе, и выполнять разнообразные управляющие функции. Подобные устройства могут во многих случаях успешно замещать человека, выполняя за него функции восприятия информации, ее хранения и переработки, функции принятия решения, управления и пр. Таким образом, *возможности технических устройств* современной системы «человек—машина» *по некоторым показателям существенно приблизились к возможностям человека,* действующего в этой системе, а по некоторым даже превзошли его.

Сложилось такое положение, когда многие функции в системе «человек—машина» может успешно выполнять как человек, так и техническое устройство. Отсюда вытекает большая принципиальная проблема: *какую функцию в системе управления поручить человеку, а какую — машине,* чтобы обеспечить их целесообразное взаимодействие и эффективную работу системы? Целесообразность организации той или иной действующей системы «человек—машина» сейчас может оцениваться по тому, насколько выполняемые в ней человеком и машиной функции

соответствуют возможностям того и другого компонента. Однако *наибольшее значение проблема распределения функций между человеком и машиной приобретает при проектировании новых систем «человек—машина»*. Как будет показано далее (см. гл. X), принцип распределения функций между человеком и техническими устройствами в наше время является основой системотехнического проектирования человеко-машинных систем.

Прежде чем рассматривать подходы к разрешению проблемы распределения функций и критерии подобного распределения, остановимся на оценках и сопоставлении возможностей, которыми располагает человек и современное техническое устройство в сложной системе управления. При этом особое внимание обратим на четкое разделение «сильных» и «слабых» сторон того и другого компонента.

1. По скорости, точности и объему *восприятия* отдельных сигналов современная ЭВМ в значительной мере превосходит возможности человека. Если нервной клетке для восприятия единицы информации требуется $10^{-2}$ с, то элемент ЭВМ выполняет это действие за $10^{-7}$ с, т. е. в сто тысяч раз быстрее. Однако способность человеческого мозга к параллельной обработке информации в значительной мере компенсирует это отставание и даже обеспечивает человеку превосходство в восприятии сложных комплексов сигналов и образов.

Следует заметить, что термин «восприятие» в том смысле, в каком он используется в психологии, к ЭВМ не совсем применим. Под восприятием в психологии понимается отражение предметов и явлений в совокупности их свойств. В ЭВМ же отражаются главным образом лишь отдельные свойства явлений и предметов, причем обычно вне их взаимосвязи; поэтому такой процесс в машине скорее является аналогом психического процесса ощущения. Ограниченные возможности машины по объединению и обобщению принятых сигналов фактически сводят на нет все ее, казалось бы, большие потенциальные возможности к восприятию.

Из множества свойств, характеризующих явление или предмет, ЭВМ воспринимает очень немногие — только те, на которые она настроена. Узкая избирательность «входа» является существенным недостатком машины. Сенсорный же «вход» человека весьма широк: человек способен мгновенно воспринимать целые комплексы самых разнообразных признаков предмета, представленных сигналами различных модальностей (зрительной, слуховой, тактильной и пр.), а значительные способности человека к обобщениям открывают перед ним неограниченные возможности выявления множества новых признаков и связей, существующих между сигналами. Многоуровневость процесса восприятия (восприятие сигналов вначале как физических раздражителей, затем формирование перцептивного образа

отражаемого объекта, его трансформация с позиции задачи)[14] позволяет человеку приспосабливаться в процессе восприятия отдельно на каждом из этих уровней, что обеспечивает его гибкую адаптацию к наиболее полному отражению объекта. К тому же человек способен оценивать и тенденции изменения состояния объекта, воспринимать его по косвенным признакам за пределами своих сенсорных возможностей. Он может легко преодолевать трудности при восприятии неопределенной, двусмысленной информации, может успешно оценивать показатели вероятностного порядка. Машина же воспринимает только достоверные данные.

Человеку присуща константность восприятия (размеров, формы, цвета), позволяющая ему, независимо от условий предъявления объекта (его удаления, расположения в поле зрения, освещения), узнавать данный объект. Машина же на такое восприятие пока не способна.

2. Общий объем человеческой *памяти* исчисляется в сотнях миллионов единиц информации. Память современных ЭВМ достигает десятков миллионов таких единиц и по своему объему в общем приближается к предельным возможностям человека. ЭВМ способна сохранять такое количество однотипных данных о работе системы, какое не способен запомнить человек. В то же время в памяти человека каждый показатель работы системы обычно включен в такое число различных связей, какое пока не способна учитывать ни одна машина. Поэтому преимущества машинной памяти проявляются лишь при хранении однотипных данных, на которые рассчитана машина, преимущества же человеческой памяти — в хранении большого числа связей.

Следы в машинной памяти можно стирать, а из памяти человека даже уже ненужные данные убрать невозможно. В то же время человек способен забывать необходимые для управления сведения, а машина обычно сохраняет в памяти всю введенную информацию.

3. Сопоставляя возможности *мышления* человека с некоторым аналогом этого процесса в машине, следует учитывать условность применения термина «мышление» к машине. Психический процесс мышления заключается в субъективном отражении предметов и явлений в их существенных признаках и взаимосвязях. И если в машине моделируются некоторые элементы этого процесса, то такой акт следует расценивать только как его условное воспроизведение, учитывающее лишь отдельные существенные признаки и связи рассматриваемых явлений и предметов.

Низкие интегральные возможности восприятия и памяти машин, их недостаточная гибкость и пластичность в этих процессах предопределяют и низкие способности машин к воспро-

[14] Веккер Л. М. Психические процессы. Т. 1. Л., 1974. 332 с.

изведению процессов мышления. Машина не может располагать таким количеством различных программ преобразования и объединения информации, каким располагает человек; она не способна решать задачи такой высокой неопределенности, с какой справляется человек. Однако при решении отдельных задач с большим числом однородных и сложно взаимосвязанных данных машина может значительно превосходить человека. Поскольку в системах «человек—машина» возникает обычно много подобных задач, то это обстоятельство способствует широкой замене человека машиной.

4. По *моторным функциям,* таким, как скорость, быстродействие, точность, сила, современные машины, безусловно, превосходят человека. Машины способны обеспечивать точное выдерживание регулируемых параметров, причем не только по величине и скорости их изменения, но и по производным высших порядков. На это в общем случае не способен человек. Машины располагают значительно большим запасом энергии. Однако моторный «выход» машины ограничен только определенным набором ответов, человек же обычно использует значительно большее число вариантов ответных действий. Таким образом, «выход» человека, как и его «вход», значительно более пластичен и гибок, чем у машины. В зависимости от задачи человек может, если потребуется, использовать самые разнообразные комбинации имеющихся в его распоряжении ответных действий, какие практически невозможно предусмотреть в машине.

5. Человек в системе управления выступает, как уже отмечалось, в виде компонента, способного к высокой степени *самоорганизации* на различных уровнях. Движимый имеющейся у него целью, он постоянно контролирует и прогнозирует ход процесса ее достижения, реализуя свои широкие функциональные возможности и используя резервы для преодоления препятствий на этом пути.

Современные автоматические устройства в некоторой мере способны к самоорганизации и использованию накапливаемого в их памяти «опыта» для улучшения отдельных показателей своей работы. Но эти возможности, из-за присущих машинам ограничений, оказываются невысокими. В случае возникновения «трудностей» в работе технического звена (условий, при которых его работа не предусмотрена) она либо прекращает работу, либо результат ее действия оказывается бессмысленным для системы. Человек же в подобных случаях изыскивает пути к сохранению нормальной работы системы и к достижению цели.

6. Как человек, так и машина в системе управления подвержены многообразным *воздействиям внешнего и внутреннего порядка.* Однако характер этих воздействий принципиально различный. Человек быстро устает и нуждается в периодическом отдыхе; он не способен длительное время сосредоточивать внимание на определенном объекте и может отвлекаться; он чувстви-

телен к различным стрессовым ситуациям, подвержен влиянию разнообразных субъективных факторов, иногда отрицательно сказывающихся на результатах его деятельности. Всех этих недостатков нет у машины — она терпеливо и бездумно решает свои задачи. Однако у нее имеются собственные недостатки: машина чувствительна к магнитным и электрическим полям, к внешней температуре — под их влиянием результаты работы машины могут сильно искажаться.

Человек обычно способен противостоять большинству внутренних нарушений, возникающих в его организме, и сохранять при этом требуемые показатели функционирования системы. Нарушения же в работе технических устройств, как правило, ведут к нарушению работы всей системы.

Итак, на основе проведенного сопоставления возможностей в системе управления человека и машины можно сделать следующие обобщения.

**На человека** в системе управления **следует возлагать** выполнение таких функций:

— распознавание ситуации в целом по ее многим сложно связанным характеристикам, а также при неполной информации о ней;

— индуктивное мышление, т. е. осуществление обобщений на основе отдельных фактов, особенно при неполной информации о задаче;

— решение задач, в которых отсутствует алгоритм или нет четко выраженных правил переработки информации;

— решение задач, в которых требуется гибкость и приспосабливаемость к изменяющимся условиям, особенно задач, которые заранее трудно предвидеть;

— решение задач высокой ответственности, в которых велика цена ошибки.

**Машине целесообразно поручать** следующие функции:

— выполнение всех видов математических расчетов, поскольку машина отличается быстродействием и точностью;

— выполнение однообразных, повторяющихся операций согласно заданному алгоритму;

— хранение в памяти большого объема однородной информации для использования ее при машинных расчетах и быстрой выдачи по запросу оператора;

— решение задач, требующих дедуктивного мышления, т. е. получения на основе общих правил решений для частных случаев;

— выполнение действий, требующих быстрой реакции на команду.

## 1.4.2. ПРИНЦИПЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИЙ МЕЖДУ ЧЕЛОВЕКОМ И МАШИНОЙ

Основной критерий распределения функций между человеком и машиной в системе управления как нельзя более точно определил Норберт Винер в своем шутливом замечании: «Отдайте же человеку человеческое, а вычислительной машине — машинное. В этом и должна, по-видимому, заключаться разумная линия поведения при организации совместных действий людей и машин»[15].

Однако основная трудность реализации этого критерия заключается в том, чтобы распознать, в какой мере та или иная функция в системе управления является «человеческой» и в какой — «машинной». Такое распознавание осуществляется на основе специально разработанных принципов.

1. **Принцип преимущественных возможностей** логически вытекает из приведенного выше сравнения возможностей человека и машины: кто способен лучше выполнить данную задачу, тому и следует ее поручать. Однако результаты выполнения любой задачи, возникающей в системе управления, характеризуются, как правило, несколькими показателями. Можно говорить о ряде показателей функционирования самой системы (точности, быстродействии, надежности), можно говорить и о стоимости этих результатов, и об их экономической эффективности. Причем по одним результирующим показателям преимущество может оказаться на стороне человека, а по другим — машины. Поэтому данный принцип требует выбора определенных показателей, по которым оцениваются преимущества, — показателей, наиболее существенных при создании данной системы.

2. **Принцип максимализации показателей всей системы** «человек—машина» предусматривает такое распределение функций между человеком и машиной, при котором достигаются высокие показатели работы не отдельно человека или машины, а общего результата их совместного действия в системе. Этот принцип вытекает из положения, согласно которому человек и машина в системе управления выступают не как соперники и действия их должны быть направлены прежде всего на достижение общей цели, на разрешение единой задачи, возникающей в системе управления. Однако, как и в предшествующем случае, здесь остается открытым вопрос: по каким показателям системы осуществлять эту максимализацию? При реализации данного принципа, очевидно, как и при реализации предшествующего, требуются дополнительные критерии для выбора наиболее существенных показателей системы.

Так, например, возможно оценивать систему по единому комплексному показателю, полученному по частным показателям

---

[15] Винер Н. Творец и робот. М., 1965, с. 82—83.

работы системы, с учетом критерия важности (веса) каждого из них. В качестве такой общей оценки может использоваться следующее соотношение:

$$I = f(I_1, I_2, \ldots, I_n) \approx \sum_{i=1}^{n} \alpha_i I_i,$$

где $I_1, I_2, \ldots, I_n$ — оценки по частным показателям,
$\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$ — коэффициенты (веса), характеризующие относительную важность частных оценок для выбора оптимального распределения функций.

В число частных оценок обычно входят показатели качества и надежности работы системы, ее себестоимости, удовлетворенности оператора и др.

Д. Мейстер (D. Meister) и Дж. Рабидо (J. Rabideau) указывают, что эти критерии зачастую избирают сами конструкторы, причем не из соображений выгод системы, а из удобства проектирования. Наиболее существенными критериями, по которым следует вести проектирование, авторы считают «достижение максимального уровня тактико-технических данных с минимальными затратами времени и средств»[16]. Именно на достижение компромиссного решения, дающего оптимальную комбинацию этих переменных, и должно быть направлено, по мнению авторов, распределение функций между человеком и машиной. Однако и такой подход не является до конца однозначным, поскольку тактико-технические данные включают в себя ряд показателей, из числа которых приходится выбирать наиболее существенные для проектируемой системы и уже по ним вести максимализацию.

3. **Принцип оптимизации информационного обмена** в системе управления предусматривает такое распределение функций между человеком и машиной, при котором объем информации, поступающей к человеку и к машине, а также скорость ее предъявления соответствуют их возможностям по ее восприятию и переработке, учитывают их загрузку в данный момент в системе управления. Данный принцип предусматривает не просто создание оптимальных условий для восприятия, переработки и дальнейшей выдачи информации отдельно для человека и отдельно для машины, а оптимизацию общего информационного потока, циркулирующего в системе управления.

При этом следует принимать во внимание степень неопределенности отдельных задач — степень неоднозначности, существующую между входными и выходными данными в рассматриваемой задаче. Чем больше разнородных факторов приходится учитывать при формировании ответа на данную входную инфор-

[16] Мейстер Д., Рабидо Дж. Инженерно-психологическая оценка при разработке систем управления. М., 1970, с. 86.

мацию, тем больше оснований имеется для передачи функции решения такой задачи человеку.

4. **Принцип взаимного дополнения и резервирования** человека и машины предполагает использование для решения отдельных задач, возникающих при работе системы, их совместных возможностей, а в случае необходимости и перераспределение между ними отдельных функций по ходу работы. Благодаря взаимодополнению представляется возможным достигать высоких результатов не только по выделенным показателям, но одновременно и по ряду других параметров, которыми приходилось пренебрегать, если в данной функции предпочтение отдавалось человеку или машине.

Подобное дополнение является компенсаторным средством устранения недостатков того категоричного распределения функций, которое осуществляется только по одним показателям, с пренебрежением остальными.

Внедрение в современные системы «человек—машина» средств и систем технического контроля за показателями жизнедеятельности оператора и его действиями открывает возможности разработки систем с адаптивным приспособлением машины к возможностям и состояниям человека. Такие системы могут отфильтровывать его ошибочные действия, включать техническое резервирование человека в случае возникновения у него затруднений, менять форму представления информации, ее содержание в зависимости от его состояния и пр.

5. **Принцип ответственности** предусматривает учет при распределении функций между человеком и машиной степени ответственности разрешаемых задач. Введение этого принципа обусловлено, с одной стороны, ограниченной надежностью технических устройств, с другой — широтой и гибкостью приспособительных возможностей человека, его способностью находить оптимальные решения при неполноте информации и в непредвиденных ситуациях. Веским основанием для введения этого принципа является, помимо того, способность человека к сохранению в изменяющихся условиях заданной надежности, а также его способность более надежно разрешать задачи высокой важности и ответственности.

Исходя из этого принципа, наиболее ответственные задачи в системе управления, независимо от других особенностей этих задач, следует возлагать на человека. При этом для повышения надежности их разрешения, согласно принципу взаимодополнения, работе человека должны максимально способствовать технические звенья.

6. **Принцип активности и удовлетворенности оператора** исходит из положения о том, что человеку свойственно стремление к активному самопроявлению в деятельности [17], к самоутвержде-

[17] Завалова Н. Д., Ломов Б. Ф., Пономаренко В. А. Принцип активного оператора и распределения функций между человеком и автоматом. — «Вопросы психологии», 1971, № 3, с. 3—12.

нию на основе результатов своего труда. Поэтому при определении функций человека в системе управления недостаточно оставлять за ним только те функции, с которыми не может справиться машина, а необходимо специально возлагать на него выполнение тех задач, в которых он сможет активно себя проявить. Важнейший принцип советской трудовой психологии, заключающийся в требовании достижения, наряду с высокой производительностью труда, также и удовлетворенности человека своим трудом, в полной мере сохраняется и в отечественной инженерной психологии. Поэтому при распределении функций между человеком и машиной следует стремиться к передаче машине всех рутинных и нетворческих задач и обеспечению человека главным образом творческими задачами, способствующими его удовлетворенности.

Следует отметить, что выполнение этого принципа обусловлено реальными обстоятельствами: все однообразные, нетворческие задачи обычно сравнительно легко поддаются алгоритмизации и поручаются машине, тогда как творческие задачи, требующие активности оператора и использования различных его резервных возможностей, как правило, остаются у оператора. Приходится также учитывать, что иногда выполнение человеком управляющих функций связано с опасностью для его здоровья и жизни. В подобных случаях следует, независимо от других факторов, передавать эти функции машине.

7. **Принцип легкости обучения оператора** и формирования его индивидуального стиля требует, чтобы при определении функции человека учитывался фактор затрат средств и времени, необходимых для отбора и подготовки операторов, а также возможности выработки человеком своего стиля деятельности.

## I.5. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ «ЧЕЛОВЕК—МАШИНА»

Инженерная психология, как и любая другая область науки, нуждается в классификации изучаемых в ней объектов. Всякая классификация, с одной стороны, обнаруживает то общее, что присуще всем объектам, изучаемым в данной области, а с другой — служит средством анализа, вскрывающим группируемость и внутреннюю делимость этих объектов. В инженерной психологии пока нет единой общепринятой системы классификации изучаемых в ней объектов. Поэтому ниже будет приведено несколько различных методов классификации систем «человек—машина», в основном с целью раскрытия разнообразия видов изучаемого объекта и анализа его внутренней делимости.

1. **Классификация систем по функциям**, выполняемым опера-

тором, была предложена В. П. Зинченко и Д. Ю. Пановым[18]. Недетерминированные системы, изучаемые в инженерной психологии, они делят на две группы:

— системы первого рода, в которых управление осуществляется в основном *автоматически*, а оператор только *эпизодически воздействует* на систему. Примером такой системы может служить управление самолетом посредством автопилота, где летчик только изредка, при необходимости, вмешивается в управление и изменяет режим полета;

— *игровые системы* — системы второго рода, в которых деятельность оператора заключается в *разрешении непрерывной цепи* возникающих у него задач. В подобной системе действуют, например, летчик при ручном управлении самолетом, шофер.

2. **Классификация систем по числу действующих в них операторов** и уровню их деятельности. Здесь выделяют две группы систем «человек—машина»: системы, в которых работает *один оператор*, и системы, в которых взаимодействует *несколько операторов*.

Системы «человек—машина» с несколькими операторами иногда подразделяют *по иерархической структуре деятельности* операторов[19]. К системам первого порядка относятся системы, в которых все операторы действуют на одном уровне управления. В системах второго порядка имеется два уровня: на первом находятся операторы, непосредственно воздействующие на машину, а на втором — человек, который управляет машиной через операторов первого уровня. Подобным образом могут быть выделены системы третьего и более высоких уровней.

Выделение в системе управления уровней деятельности человека привело к появлению особого вида операторской деятельности — *диспетчерской*. Если обычный оператор имеет дело непосредственно с машиной и техническими параметрами системы, на которые он сам воздействует, то диспетчер управляет подчиненными ему операторами и уже через них воздействует на систему. Поэтому единицами деятельности обычного оператора являются технические параметры управляемого объекта, единицами диспетчерской деятельности служат отдельные объекты системы управления вместе с их операторами. Однако следует заметить, что строго разграничить операторскую и диспетчерскую деятельность не всегда удается, поскольку диспетчерские функции нередко дополнительно возлагаются на одного из операторов.

3. **Классификация систем по их назначению** была предло-

---

[18] Зинченко В. П., Панов Д. Ю. Игровые системы управления и информационные модели. — В кн.: Система «человек—машина». М., 1965, с. 28—36.

[19] Раевский А. Н., Антонов А. В. К проблеме классификации систем «человек — машина». В кн.: Материалы II Всесоюзной конференции по инженерной психологии, вып. 1. М., 1968, с. 9—13.

жена А. А. Крыловым[20]. Автор выделил следующие характерные типы систем «человек—машина»:
— системы управления движущимися объектами с управлением как с объекта, так и извне;
— системы управления энергетическими установками;
— системы управления технологическим процессом циклического типа;
— системы наблюдения за обстановкой и обнаружения объектов;
— системы диспетчерского типа, управляющие транспортными средствами, распределением энергии и т. п.

Кроме перечисленных, иногда используются другие методы классификации систем «человек—машина», основанные на делении систем по характеру деятельности оператора, способу обработки информации, особенностям ее обмена между человеком и машиной, по степени автономности, по особенностям оборудования пультов и т. п.

## 1.6. ЧЕЛОВЕК И ИНФОРМАЦИЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

### 1.6.1. ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ

В сложной системе управления оператор, как правило, лишен возможности непосредственно наблюдать управляемый объект и вынужден судить о нем по информации, поступающей через дистанционную передачу. Подобную деятельность человека, осуществляемую не с реальными объектами, а с их заместителями — имитирующими их образами, В. П. Зинченко и Д. Ю. Панов назвали деятельностью с информационной моделью реального объекта.

Информационной моделью *называется организованное в соответствии с определенной системой правил отображение управляемого объекта, его системы управления, внешней среды и способов воздействия на них.*

Таким образом, информационная модель оказывается тем средством, которое замещает в представлениях человека-оператора натуральные процессы в управляемом объекте и его системе. Материально информационная модель реализуется посредством различных индикаторных приборов, сигнализаторов, табло и других средств отображения информации.

Для оператора информационная модель является не только источником информации о состоянии управляемого объекта: из ее приборов, сигнализаторов образуется некоторое *«оперативное*

[20] Крылов А. А. Человек в автоматизированных системах управления, Л., 1972, с. 22—29.

*поле»,* на базе которого возникают и функционируют основные психические процессы, из которых складывается управляющая деятельность оператора. Это положение легко подтвердить, проследив хотя бы в общем ход этих процессов.

Действительно, на индикаторах информационной модели оператор обнаруживает и опознает сигналы. С непосредственной зрительной опорой на индикаторы осуществляется декодирование сигналов, выявление их информационного содержания, их анализ, а также синтез полученных данных в целостную систему. На информационной модели оператор мысленно проигрывает различные варианты действий и принимает решение. По ней же он контролирует результаты реализации этого решения. Таким образом, с информационной моделью оказывается тесно связанной вся управляющая деятельность оператора.

Выделим основные, наиболее типичные особенности, характеризующие работу оператора с информационной моделью.

1. Управляя системой на основе информационной модели, оператор *соотносит* сведения, полученные с приборов, экранов, табло, с реальными параметрами, которые отображают эти индикаторы, и связывает эти сведения между собой в единый образ, отражающий состояние и характер функционирования управляемого объекта.

2. В процессе соотнесения показаний данного прибора с реальным параметром объекта происходит *декодирование* полученной приборной информации.

3. Зная динамическую взаимосвязь, существующую между параметрами управляемого объекта, оператор способен по информационной модели *реконструировать* дополнительную информацию, т. е. выводить суждение о параметрах системы, не получивших отражение в этой модели.

4. На основе знания динамической взаимосвязи, существующей между параметрами управляемого объекта, оператор способен также по текущим данным информационной модели *предвидеть изменение* состояния управляемого объекта и соответствующие изменения в информационной модели.

5. Зная взаимосвязь, существующую между отдельными параметрами управляемого объекта, а следовательно, и взаимосвязь между сообщениями об этих параметрах, он способен успешно оценивать значения параметров даже на фоне значительных помех. Благодаря этому у оператора появляется способность к *подпомеховой видимости.* Так, контролируя движение цели на экране радиолокатора, оператор легко представляет себе это движение и на участке экрана, где цель полностью скрыта за радиопомехами.

Таким образом, информационная модель позволяет оператору создавать представление о текущем состоянии управляемого объекта как по содержащейся в модели, так и по реконструируемой из нее информации, дает возможность осуществлять анализ

этого состояния с предвидением динамики его развития. На основе этих непосредственно полученных и косвенно выведенных сведений оператор выбирает способы управляющих воздействий и контролирует их реализацию. В информационной модели обычно представлены основные сведения, необходимые оператору для выбора способа действия; поэтому информационная модель является средством, разгружающим память оператора, — ему не нужно запоминать значение всех контролируемых параметров, поскольку он всегда может отсчитать их с приборов этой модели.

Следует подчеркнуть, что объем информации, воспринимаемой оператором с информационной модели, увеличивается с практическим опытом оператора. С познанием динамики работы системы он обнаруживает новые связи между ее параметрами, выявляет закономерности развития процессов, влияние среды, особенности действия средств выдачи информации, средств управления и пр. Поэтому с накоплением опыта управления системой расширяются возможности оператора по реконструированию информации и предсказанию развития процессов в управляемом объекте.

Информационную модель не следует ограничивать только зрительной информацией, предъявляемой оператору с приборной панели, — эта информация часто дополняется сигналами других модальностей. Подобные сигналы могут быть специально предусмотрены в информационной модели, но могут возникать и помимо ее. Так, например, летчик получает сведения о положении самолета в пространстве и о работе самолетных систем не только по индикаторным приборам, но и по звуку работы двигателей, по ощущениям перегрузок и положения тела в пространстве, по изменению нагрузок на органах управления. Таким образом, зрительные сигналы, полученные с индикаторных приборов, здесь дополняются сигналами звуковой, статической и кинестетической модальности. При этом если информация на приборной панели представлена летчику в искусственно закодированной форме, то указанная дополнительная информация поступает к нему как бы в естественно закодированном виде. Чтобы по звуку, по нагрузкам на рулях судить о состоянии самолетных систем, о режиме полета, летчик должен иметь достаточный опыт для раскодирования такой информации. Поэтому важно, чтобы информация индикаторных приборов легко согласовывалась с дополнительной информацией других модальностей и с данными визуального контроля объекта (если таковые имеются).

Информационная модель не должна являться прямым повторением реального объекта, а должна отражать состояние управляемого объекта с таких позиций и с такой полнотой, которые требуются оператору для решения всех разнообразных задач, возникающих у него в системе управления. Таким образом, на информационной модели должна воспроизводиться не абсолют-

ная копия объекта и системы, а даваться такое отображение их состояний, которое соответствует перцептивным и мыслительным особенностям деятельности оператора.

Информационная модель создается в расчете не на пассивного потребителя информации, а на активную деятельность оператора, которой она должна содействовать. Модель должна отражать наиболее значимые для работы оператора признаки системы, наглядно выявлять существенные связи между отдельными сигналами, ее сигналы должны легко объединяться в более крупные структурные единицы. Чем с меньшим числом сигналов или единиц будет действовать оператор, тем с меньшим числом ситуаций ему придется сталкиваться при управлении, тем легче будет распознавать возникшую в системе ситуацию и соотносить ее с определенным способом действия.

Информационная модель должна учитывать временну́ю последовательность задач, возникающих у оператора, и его возможности по восприятию информации в каждый момент времени. При этом ее следует согласовывать не только с возможностями восприятия, но и с моторными функциями оператора, обеспечивая его по линии обратной связи данными о результатах управляющих действий, поступающих своевременно и в необходимом объеме.

Анализ работы операторов с информационными моделями показывает, что операторы не во всех случаях осуществляют декодирование информации и ее соотнесение с реальным параметром объекта. При решении типовых задач управления они часто оперируют данными информационной модели в закодированной форме и прямо по ним принимают решения и осуществляют управление системой. Этот фактор должен также учитываться при разработке информационных моделей.

На основании сказанного можно заключить, что *информационная модель оказывается тем центральным и узловым пунктом, вокруг которого организуется вся управляющая деятельность человека-оператора. Поэтому проблема создания информационной модели, как и проблема распределения функций, является основной в инженерной психологии.*

### 1.6.2. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

Чтобы по информационной модели оценить сложившуюся в системе управления ситуацию, недостаточно только воспринять и раскодировать отдельные сообщения, переданные ее индикаторными приборами. Нужно еще объединить эти разрозненные сообщения в единую, логически связанную структуру. Для такого объединения оператор должен располагать знаниями о закономерностях, связывающих параметры управляемого объекта, о динамике этих связей и их проявлении на информационной модели. Ему нужно также знать, в каком состоянии должны быть

в данный момент система и управляемый объект согласно заданной программе. И только на основе соотнесения данных о фактическом состоянии системы с требуемыми по программе оператор сможет оценить сложившуюся в системе ситуацию и возникшую задачу.

С обнаружением такой задачи деятельность оператора направляется на ее разрешение. Именно с позиций этой задачи оператор теперь связывает, соотносит и расценивает текущую информацию, возникающую на информационной модели. Попутно в сознании оператора актуализируется прошлый опыт по разрешению подобных задач вместе с путями их разрешения и с полученными при этом результатами. На основе этого опыта и представлений о возникшей задаче формируются прогнозы путей ее разрешения.

Итак, исходя из задачи, воспринятой с информационной модели, знаний и опыта в представлении оператора возникает целый комплекс взаимосвязанных сведений, отражающих сложившуюся ситуацию с позиции этой задачи. Такая *совокупность представлений человека-оператора о состоянии управляемого объекта, системы и внешней среды, возникшая на основе информационной модели, ранее накопленных знаний и опыта и сложившаяся применительно к разрешаемой задаче, называется* концептуальной моделью.

Если информационная модель выступает как объективное и нейтральное отражение текущего состояния системы, то концептуальная модель оказывается субъективным отражением этого состояния в индивидуальном сознании человека-оператора. В особенностях концептуальной модели отражаются потребности человека, сложившаяся у него система взглядов, профессиональные качества, его пристрастие к решаемой задаче, иначе говоря, вся его позиция, занимаемая по отношению к этой задаче и определяющая концепцию его деятельности.

В *концептуальную модель* входят образы *существующей ситуации* и ситуации, *имевшей место в прошлом опыте.* В нее входят и образы *прогнозируемой* ситуации, а также *программы преобразования существующей ситуации в прогнозируемую.*

Одна и та же информационная модель, в зависимости от решаемой задачи, порождает в сознании оператора различные концептуальные модели. Так, например, шофер, который опасается, что не хватит бензина, воспринимает информационную модель автомобиля с позиции экономного расхода горючего. Если же бензина достаточно, но часто возникали неисправности двигателя, шофер воспринимает ту же информационную модель уже с точки зрения повторения признаков неисправности.

Таким образом, информационная модель формируется адекватно решаемой задаче. Чем более жесткие ограничения налагаются на задачу, чем более жесткие инструкции определяют ее выполнение, тем более сходными оказываются концептуальные

модели у различных операторов при ее решении. И наоборот, когда задается лишь общее направление деятельности, без особых ограничений в ее организации, различие в концептуальных моделях у разных операторов при решении одной и той же задачи возрастает.

Итак, *информационная модель* в практической деятельности оператора выступает в качестве *источника и основы для формирования концептуальной модели*. Поэтому информационная модель должна создавать оператору условия для достаточно полной ориентировки в сложившейся ситуации, для разностороннего осмысления предъявляемых на ней данных и разнообразного их использования в различных концептуальных моделях. Подобно тому, как слово «прозрачно» передает стоящее за ним понятие, так и информационная модель должна «прозрачно», не заслоняя своей формой содержания, отображать состояние управляемого объекта системы управления и внешней среды. При этом наиболее существенным качеством информационной модели является ее приспособленность для отображения именно тех данных, которые оказываются необходимыми оператору для формирования концептуальных моделей, адекватных различным задачам его управляющей деятельности.

А. И. Галактионов с соавторами [21] на основе исследования движений глаз операторов в процессе их управляющей деятельности установил, что человек стремится к созданию такой концептуальной модели, которая была бы оптимально упорядочена относительно причинно-следственных связей в управляемом объекте и создавалась бы за минимальное число шагов зрительного поиска информации. Он показал, что в концептуальной модели отражаются не только функциональные причинно-следственные связи, присущие самому управляемому объекту, но и связи технологического, организационного и иного порядка, в меру их важности в разрешаемой задаче.

Заключая рассмотрение данного вопроса, следует отметить, что, хотя информационная модель является основой для формирования концептуальной модели, эту основу нельзя считать незыблемой. Опыт показывает, что из-за неисправности индикаторов на информационной модели может появляться ложная информация. Осмысленность концептуальной модели позволяет использовать ее как средство контроля за достоверностью информационной модели. Следовательно, информационная модель должна, кроме прочих вышеназванных качеств, являться еще и удобным полем, на котором легко обнаруживаются ложные показания отдельных индикаторных приборов, а также

---

[21] Галактионов А. И. и др. О многоструктурности концептуальной модели оператора-технолога. — В кн.: Проблемы инженерной психологии и эргономики. Тезисы к IV Всесоюзной конференции по инженерной психологии и эргономике, вып. 1. Ярославль, 1974, с. 100—101.

предусматривать условия для реконструирования утраченной вследствие отказа прибора информации.

* * *

После определения инженерной психологии как научной области, обзора ее основных методов, принципов и проблем перейдем к изучению самого предмета этой области знания — деятельности человека-оператора по управлению сложной технической системой. Вначале рассмотрим общие положения теории предметной деятельности.

# Глава II. Деятельность человека-оператора

## II.1. НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### II.1.1. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, ДЕЙСТВИЕ И ОПЕРАЦИЯ

Исходным принципом советской психологической науки, как уже отмечалось, является принцип изучения психики человека в непосредственной связи с его деятельностью. В инженерной психологии этот принцип приобретает особое значение, поскольку она ставит своей целью именно изучение психических проявлений человека-оператора в его управляющей деятельности, изучение их влияния на результаты этой деятельности. Поэтому наиболее естественным подходом к изучению психики человека в системе управления является использование *теории предметной деятельности.* Эта теория возникла из учений советской психологической школы Л. С. Выготского и С. Л. Рубинштейна, была существенно расширена благодаря основополагающим психофизиологическим исследованиям Н. А. Бернштейна и П. К. Анохина и в настоящее время продолжает развиваться в трудах А. Н. Леонтьева.

В данной главе излагаются некоторые основные положения этой теории применительно к деятельности человека-оператора.

Деятельностью принято называть специфическую форму активного отношения человека к окружающему миру, которое он проявляет в целесообразном преобразовании этого мира.

Толчком к началу деятельности обычно служат возникающие у человека потребности — нужда в чем-то необходимом для его существования. Человеку свойственны различные потребности: жить, познавать, занимать определенное положение в обще-

стве и многие другие. Большинство из них он удовлетворяет посредством труда.

Появление у человека потребностей само по себе еще не порождает деятельности, возникает лишь общее неопредмеченное *влечение* его к чему-то, что может эти потребности удовлетворить. Деятельность же возникает только тогда, когда в сознании человека актуализируется конкретный предмет, который способен удовлетворить возникшие потребности и который становится целью этой деятельности. Однако далеко не каждый подобный предмет превращается в цель деятельности. Человеку свойственно *выбирать* цель, исходя при этом не только из ее способности удовлетворить потребность, но в значительно большей степени из того, насколько эта цель будет соответствовать тем вещественным или идеальным факторам, ради которых он станет действовать. Подобные факторы, определяющие при данных потребностях выбор цели, а следовательно, и направление деятельности, называют ее **мотивами**.

С выбором цели у человека, вместо общего влечения, возникает уже конкретное *желание* достичь этой цели. Избранный в качестве цели предмет, наряду с реальным бытием, теперь начинает существовать в сознании человека уже в виде психического образа — в виде некой «модели потребного будущего» (как определил этот образ Н. А. Бернштейн). Причем если мотив деятельности в некоторых случаях может оставаться не полностью осознанным или даже неосознанным, то цель и предмет деятельности всегда осознаются.

Итак, *потребности можно рассматривать как начальный побудитель к деятельности, а мотивы — как ее основную направляющую силу.* Содержание мотивов и их направляющая сила зависят от свойств личности, ее состояний, внешних условий деятельности. От этих же факторов зависят и интенсивность отдельных потребностей и занимаемый ими уровень в структуре личности. Таким образом, возникновение и развитие деятельности оказываются обусловленными как мотивами, так и потребностями человека, которые, в свою очередь, сами развиваются в процессе предметной деятельности.

Любой объект может стать целью человека только после того, как человек на собственном опыте или через опыт других людей познает возможности данного объекта удовлетворять те или иные потребности, отвечать тем или иным мотивам. Только через внешнюю предметную деятельность реальный объект может превращаться в объект внутренней, психической деятельности, т. е. становиться целью. Поэтому реальные объекты отражаются в сознании человека не как комплексы внешних раздражителей, а как объекты реальной предметной деятельности. Следовательно, психическую деятельность нужно рассматривать как продолжение общей предметной деятельности, протекающей только во внутреннем (интериоризованном) плане.

Внешние процессы, перейдя во внутренний, умственный план, не просто трансформируются в нем, но и, что очень важно, за счет их словесного отражения продолжают свое развитие в психическом плане, т. е. развиваются за пределами внешней деятельности. В связи с этим внешнюю и внутреннюю формы деятельности следует рассматривать совместно, выделяя лишь связи между ними и переходы от одной формы к другой, поскольку они имеют одинаковое строение и поскольку, как отмечает А. Н. Леонтьев, «внутренняя по своей форме деятельность происходит из внешней практической деятельности, не отделяется от нее и не становится над ней, а сохраняет принципиальную и притом двухстороннюю связь с ней»[1].

Таким образом, процесс актуализации в сознании человека цели уже сам по себе следует расценивать как этап предметной деятельности. Обязательной предпосылкой успешного завершения этой деятельности должно явиться удовлетворение возникшей потребности, т. е. преобразование существующей ситуации в ситуацию, при которой цель будет достигнута. Для этого человек должен представить себе образ того, чего еще нет, но что должно появиться в результате деятельности, т. е. должен экстраполировать существующую ситуацию на будущее.

Деятельность можно подразделять по самым разнообразным признакам: по форме, по способу ее осуществления, по отношению человека к деятельности, по связанным с ней физиологическим проявлениям, по временным и пространственным характеристикам и т. д. Однако основу для различения видов деятельности следует усматривать прежде всего в различии ее объектов и предметов.

Объектом деятельности человека-оператора служит машина. Целью этой деятельности является, как правило, обеспечение функционирования системы «человек—машина», в которую он сам входит, в соответствии с заданной программой и получение таким образом требуемого выходного продукта. Это обеспечение может проявляться в самых разнообразных формах, начиная с включения системы, установления программы действия, контроля за ее выполнением, устранения отклонений от этой программы, контроля за выходным продуктом и вплоть до мер поддержания исправности технических устройств и сохранения собственной работоспособности. Таким образом, человек в системе управления осуществляет как функции регулирования — принудительного воздействия на машину для поддержания заданных показателей ее работы, так и функции саморегуляции — поддержания необходимых показателей собственной деятельности посредством внутренних изменений ее организации.

В зависимости от выделенной цели деятельность человека-

[1] Леонтьев А. Н. Проблема деятельности в психологии. — «Вопросы философии», 1972, № 9, с. 104.

оператора может рассматриваться на различных этапах: от какого-либо небольшого этапа управления, направленного на достижение существенной для оператора самостоятельной цели, и до всей его трудовой деятельности в целом, обусловленной направленностью личности оператора. Так, деятельность машиниста локомотива можно рассматривать либо на определенном участке пути (например, при установлении заданной скорости движения), либо на протяжении всего маршрута и связанного с ним задания, либо в масштабе всей его профессиональной карьеры. Выбор масштабности деятельности зависит от того аспекта, в котором она рассматривается. Для уточнения границ деятельности иногда используется термин ц и к л  д е я т е л ь н о с т и, определяющий совокупность действий по выполнению определенной трудовой задачи (например, провести железнодорожный состав между двумя станциями) или период непрерывной работы (вахта, смена и т. п.).

Цель деятельности обычно задается человеку-оператору извне. Чтобы такая цель стала его личной целью, она должна обладать способностью удовлетворять его соответствующую потребность. В достижении подобных, предписанных извне, целей обычно и заключается деятельность человека в условиях коллективного труда. С разделением труда человеку приходится выполнять такие функции, которые сами по себе непосредственно не удовлетворяют его потребности. В подобных случаях потребность человека удовлетворяется тем вознаграждением, которое он получает за долю своего участия в коллективном труде. Побуждением же к такой деятельности у отдельного человека являются мотивы общего коллективного труда, которые заключают в себе и личные мотивы его деятельности.

*С возникновением цели деятельности в виде «модели потребного будущего» в сознании человека всегда актуализируется план действий по достижению этой цели.* Подобные планы возникают на основе опыта прошлых предметных действий и их экстрополяции на будущее. Они-то и выступают в виде связующего звена между прошлой и будущей предметной деятельностью — в виде продолжения предметной деятельности во внутренней, мыслительной сфере.

Наряду с вероятностной экстрополяцией поведения на будущее, планирование деятельности выступает уже, по выражению Н. А. Бернштейна, как своего рода интерполяция между наличной ситуацией и той, какой она должна стать в результате этой деятельности.

План формируется в виде последовательных действий, обычно имевших ранее место в опыте человека, причем каждое действие плана оказывается направленным на достижение некоторой промежуточной цели данной деятельности. Д е й с т в и е м принято *называть процесс, подчиненный представлению о том промежуточном результате, который должен быть достигнут.*

Деятельность и действие представляют собой связанные, но не совпадающие реальности. Так, одна и та же деятельность может осуществляться посредством различных действий, а одно и то же действие — входить в разные виды деятельности.

Если деятельность движима ее общим мотивом и направлена на ее конечную цель, то действие побуждается тем же мотивом, но направляется лишь на промежуточный результат, промежуточную цель, которая в нем достигается. Так, деятельность машиниста локомотива движима мотивами получения вознаграждения (материального, морального) за свой труд, чувством самоутверждения и пр., она направлена на результат всего задания. В отдельном действии (например, включении питания) продолжает проявляться побуждение, вызванное общим мотивом деятельности, но в нем оно направлено лишь на выполнение отдельного ее этапа, т. е. на достижение промежуточной цели и получение результата только данного действия.

Обычно каждое действие плана может выполняться различными способами, поэтому человеку приходится в каждом конкретном случае выбирать такой способ его осуществления, который наиболее соответствует сложившимся условиям. Следовательно, наряду с общим действием, направленным на достижение промежуточной цели, можно вести речь и *о конкретном способе его выполнения* — об операции. Таким образом, понятие «операция» учитывает одновременно и направление действия, и способ его реализации.

«Операция, — пишет А. Н. Леонтьев, — это те способы, которыми осуществляется действие. Их особенность состоит в том, что они отвечают не мотиву и не цели действия, а тем условиям, в которых дана эта цель, т. е. задаче (задача и есть цель, данная в определенных условиях)»[2]. Понятие условия здесь трактуется широко — сюда входят и внешние факторы, обусловливающие деятельность, и внутренние факторы, определяющие возможности человека по ее реализации.

Так, например, у шофера, как уже отмечалось, одно и то же действие по снижению скорости автомобиля может осуществляться посредством различных комплексов операций: торможения с нажатием педали сцепления, или торможения без нажатия этой педали, или отпускания педали акселератора. Выбор тех или иных операций при этом будет зависеть от состояния дороги, наличия на ней препятствий, от уровня обученности и опыта шофера. Заметим, что в период обучения шофера нажатие педали сцепления было для него самостоятельным действием. С приобретением же навыков управления автомобилем нажатие педалы сцепления стало для шофера уже способом выполнения действия более высокого уровня (в нашем примере — сниже-

---

[2] Леонтьев А. Н. Психологические вопросы сознательного учения. — «Известия АПН РСФСР», 1947, вып. 7, с. 21.

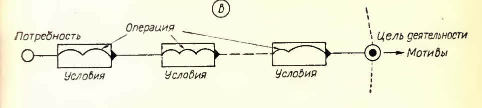



Рис. 21. Схемы формирования и реализации плана действий.

ния скорости автомобиля), взяло на себя функции обслуживания другого действия и превратилось в его операцию. (Следует отметить, что в трудовой психологии термин «операция» («трудовая операция») трактуется совсем по-иному, а именно как обособленная часть трудового процесса, включающая в себя отдельные трудовые действия.)

Если действие избирается исходя из его цели, то операция является результатом преломления действия через наличные орудия и условия его осуществления, т. е. она как бы обусловливается «технологией» действия. Выбор действия диктуется обеспечением успешности всей деятельности, выбор же операции — обеспечением успешности данного действия.

Таким образом, систематизируя в некоторой мере сказанное, можно заключить, что *деятельность человека порождена потребностью, подчинена мотивам и направлена на ее конечный результат; отдельные действия движимы теми же мотивами, но направлены на промежуточные цели; операции подчинены за-*

*дачам, которые разрешаются в действиях и выбираются исходя из условий их выполнения.*

Описанная структура предметной деятельности схематически представлена на рис. 2.1. Появление у человека потребности при отсутствии конкретного предмета, способного ее удовлетворить, порождает у него лишь влечение к ее удовлетворению (рис. 2.1, *а*). С актуализацией в его сознании предмета, который соответствует его мотивам и может удовлетворить потребность, этот предмет становится целью деятельности. При этом рождается план действий, в котором каждое действие направлено на достижение промежуточной цели (рис. 2.1, *б*). Когда деятельность начинает выполняться, для реализации каждого действия на основе реально существующих условий выбираются такие операции, которые наиболее соответствуют разрешаемой в действии задаче (рис. 2.1, *в*).

### II.1.2. ПЛАНЫ ДЕЙСТВИЙ

С выбором цели в сознании человека, как уже отмечалось, сразу же формируется план ее достижения. Он складывается в виде соответствующей последовательности действий, каждое из которых направлено на достижение промежуточной цели, а все вместе — на достижение общей цели деятельности. При этом для достижения каждой промежуточной цели человеку обычно приходится прилагать те или иные усилия, чтобы преодолеть противодействие предметов окружающего мира его организующим воздействиям. Степени подобных противодействий человеку обычно известны по прошлому опыту, в котором он познал не только противостоящие ему предметы, но и свои возможности по преодолению этих препятствий.

Таким образом, каждому действию плана в представлении человека сопутствует самооценка вероятности его успешного выполнения и достижения стоящей за ним промежуточной цели. На базе подобных оценок формируется прогноз успешности всей будущей деятельности. Поэтому такие оценки вероятности выполнения отдельных действий и, исходя из них, вероятности достижения общей цели оказываются реальной основой для дифференцирования человеком этих действий, — основой для формирования его отношения к ним.

Как показали Дж. Миллер (G. Miller), Е. Галантер (E. Galanter) и К. Прибрам (K. Pribram)[3], в плане обычно отражаются не все составляющие будущей деятельности. В него включаются как крупные структуры хорошо освоенных действий, на которых базируется деятельность, так и отдельные более мелкие действия, отличающиеся сложностью выполнения (вероятность достижения цели в них расценивается недостаточно высоко)

[3] Миллер Дж., Галантер Е., Прибрам К. Планы и структура поведения. М., 1965, с. 238.

или же их особой важностью, опасностью. Части плана, намеченные к исполнению, осознаются особенно ясно, а поэтому и хорошо запоминаются, что обеспечивает их тесную связь и координацию.

С накоплением опыта работы в памяти человека отлагаются целые единицы предметной деятельности, которыми он ранее оперировал и которые впоследствии становятся составляющими будущих планов. Однако каждая возникающая у человека задача является неповторимой в своем роде. Поэтому старые планы обычно используются как схемы для создания новых планов, адекватных возникающим задачам. В памяти человека сохраняются не сами планы, а только их «полуфабрикаты», которые он использует, после соответствующих изменений и дополнений, для решения новых задач.

Следует заметить, что в деятельности человека-оператора наибольшее значение принадлежит не столько этапу формирования плана, сколько этапу его реализации. Общее планирование здесь обычно ориентировано на известные, многократно повторяемые схемы и поэтому для опытного оператора не представляет особого труда. Реализация же плана, связанная с анализом условий и выбором операций, наиболее соответствующих возникшим задачам, представляет уже большую сложность.

## II.1.3. ЗНАЧЕНИЕ И СМЫСЛ ДЕЙСТВИЯ

Как уже отмечалось, в плане актуализируются только те действия, которые имеют наибольшее значение в данной деятельности. Однако все эти действия для человека далеко не равнозначны, поэтому значение действия является критерием как включения действия в план, так и дифференцирования действий внутри этого плана. Разберем содержание, которое вкладывается в понятие «значение».

В процессе своего развития человек познает исторически сложившиеся в его социальной среде представления о свойствах, связях и отношениях между отдельными предметами и явлениями, которые он подкрепляет и уточняет в собственной предметной деятельности. Поэтому значение *в сознании человека выступает как проекция уже сложившихся представлений о данном предмете, о его свойствах и связях.* Оно является не только формой отражения в сознании данного предмета окружающего мира, но и способом осознания его роли в объективной реальности. Значение функционирует в языке, в общении, т. е. в социальной среде, и в то же время отражается в индивидуальном сознании в виде чувственных предметов и образов, не утрачивая при этом своей общественно-исторической природы и объективности.

Так, например, оператор энергосистемы познает значение в

его управляющей деятельности данного индикатора, данного органа управления или какого-либо сигнала. Шофер осознает значение в его работе, тормозов, летчик — этапа посадки, причем эти значения складываются на основе опыта, накопленного множеством операторов и подкрепленного собственной практикой.

Однако, наряду с объективной оценкой роли данного предмета в окружающем мире, имеется и его субъективная оценка — трактовка этой роли, возникшая в индивидуальном сознании под воздействием потребностей и мотивов данного человека. В подобном случае можно говорить о *преломлении общепринятого представления — значения — в индивидуальном сознании,* т. е. о смысле, которое оно приобретает для данной личности. «Если внешняя чувствительность связывает в сознании субъекта значение с реальностью объективного мира, — пишет А. Н. Леонтьев, — то личностный смысл связывает их с реальностью самой жизни в этом мире, с ее мотивами. Личностный смысл и создает пристрастность человеческого сознания»[4].

Такая пристрастность обусловливается не столько природными задатками, сколько всей предшествующей жизнью данного человека, сложившейся в ней направленностью личности.

Человек как личность формируется в деятельности и как личность в своей деятельности проявляется. Причем не действия, не операции характеризует его как личность, а именно его деятельность, поскольку действия и операции зависят от сложившейся ситуации, от конкретных условий, которые, как известно, определяются случайными факторами. Деятельность же человека, особенно профессиональная, обычно отличается сравнительной стабильностью, поэтому в ней весьма ярко проявляются устойчивые свойства личности.

В этой связи важно отметить, что человек раскрывается не в отдельной конкретной деятельности, а в иерархии его деятельностей, в центрировании их вокруг немногих главных ее видов. Очевидно, поэтому смысл данного действия будет зависеть от деятельности, в которую оно включено, от той роли, которая придается действию в деятельности, и от места, занимаемого этой деятельностью в иерархии данной личности.

## II.1.4. ЭМОЦИИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Итак, различные действия плана, в зависимости от их влияния на результат деятельности, приобретают для человека различный смысл. Смысл же, как писал Л. С. Выготский, «представляет собой единство аффективных и интеллектуальных про-

[4] Леонтьев А. Н. Деятельность, сознание, личность. М., 1975, с. 153.

цессов»[5]. Поэтому при психологическом анализе деятельности нельзя ограничиваться рассмотрением только содержательной стороны смысла, без учета порождаемых им переживаний, поскольку, как справедливо отмечает Ф. В. Бассин, «смысл в отрыве от переживаний — это логическая конструкция, а переживания в отрыве от смысла — это скорее физиологическая категория»[6].

Какие же причины или факторы, заключенные в смысле данного действия, будут вызывать у человека переживания этого смысла? Они будут определяться прежде всего отношением этого действия к результату деятельности и удовлетворению стоящих за ней мотивов и потребностей. Так, отсутствие полной уверенности в успешности выполнения предстоящего действия уже порождает у человека сомнения в возможностях достижения цели деятельности, в чем еще И. П. Павлов усматривал предпосылки для возникновения эмоций. Исследованиями В. П. Симонова, К. Прибрама и других физиологов было экспериментально доказано, что мозгу свойственно заблаговременно оценивать вероятность достижения цели в данном действии: в тех случаях, когда эта вероятность предполагается низкой, выполнению такого действия предшествуют и сопутствуют эмоции.

Поскольку смысл действия является субъективным фактором, который складывается не только исходя из его значения, но и на основе предшествующей деятельности личности и ее индивидуальных особенностей, то и переживания этого смысла будут сугубо субъективными. Поэтому оценка причин, порождающих у человека переживания данного действия, и тем более уровня этих переживаний оказывается чрезвычайно сложной задачей. Однако поскольку подобные оценки представляют значительный интерес для психологии, предпринимаются попытки хотя бы приближенного определения уровня таких переживаний.

В инженерной психологии открываются некоторые возможности для выявления предпосылок получения подобных оценок в деятельности человека-оператора. Этому обстоятельству способствуют упомянутые выше особенности деятельности: решение довольно узкого круга задач в условиях жестких ограничений, налагаемых управляемой системой, и др.

Как показали проведенные исследования[7], можно выделить *ряд факторов, смысл которых определяет переживания опера-*

---

[5] Выготский Л. С. Избранные психологические исследования. М., 1956, с. 56.

[6] Бассин Ф. В. К развитию проблемы значения и смысла. — «Вопросы психологии», 1973, № 6, с. 22.

[7] Котик М. А. Саморегуляция и надежность человека-оператора. Таллин, 1974, с. 38—128.

*тора при выполнении данного* i-го *действия* плана (связанную с ним эмоциональную напряженность).

1. Эти переживания зависят от субъективной оценки оператором вероятности неудачи в данном действии и недостижении цели (события $O_1$), которая определяется выражением $P(O_1)$.

2. Переживания зависят и от того, в какой мере, по мнению оператора, невыполнение данного действия может привести к недостижению цели всей деятельности. Этот смысл будет вытекать из субъективной оценки оператором условной вероятности $P(R|O_1)$, где $R$ — событие недостижения общей цели деятельности.

3. Выдерживание режима работы системы согласно заданной программе (что рассматривается в данном случае как цель деятельности оператора) является средством достижения последующей цели — получения соответствующего выходного продукта системы. Поэтому переживания оператора, связанные с выполнением действия i, будут определяться и ожидаемой им условной вероятностью $P(G|O_1)$ недостижения последующей цели из-за невыполнения этого действия, где G — событие недостижения последующей цели.

4. Невыполнение данного действия даже без срыва основной и последующих целей может иметь и непосредственные отрицательные последствия для оператора. Так, например, из-за неправильного действия в сети высокого напряжения оператор может погибнуть, тогда как автоматика завершит дальнейшее управление системой и цель деятельности будет достигнута. Поэтому переживания оператора могут вытекать из смысла, что из-за невыполнения действия возможно нанесение прямого ущерба как себе, так и другим людям, технике и пр., вероятность которого будет $P(\Phi|O_1)$, где Ф — событие появления такого ущерба.

Если ограничиться учетом только названных факторов, то можно предположить, что смысл данного i-го действия, порождающий у человека-оператора переживания в связи с его выполнением, в рассматриваемом случае определяется как функция следующих вероятностей:

$$C_1 = f[P(O_1), P(R|O_1), P(G|O_1), P(\Phi|O_1)], \quad (2.1)$$

где $C_1$ — показатель уровня эмоциональной реакции оператора на смысл действия i. Заметим, что данный показатель складывается на основе смысла, который приобретают в сознании оператора только вероятности возникновения указанных событий и он не учитывает отношения оператора к этим событиям (их связь с потребностями, мотивами), поэтому $C_1$ характеризует главным образом внешние условия, порождающие эмоции, определяет уровень как бы внешнего стрессора.

Из приведенной зависимости (2.1) вытекает, что *эмоции, сопутствующие выполнению данного действия, порождаются* не столько самим действием, сколько его *смыслом в общей деятельности.* Подобные эмоции, как указывает А. Н. Леонтьев, оказываются «релевантными именно деятельности»[8], поэтому они корректируют действие соответственно его смыслу в этой деятельности.

Проведенное исследование показало практические возможности использования зависимости (2.1) для приближенных количественных оценок уровня эмоциональной реакции оператора на смысл данного управляющего действия. В дальнейшем изложении ту сторону смысла, которая порождает эмоции, будем именовать его значимостью, а степень значимости оценивать по *уровню эмоциональной реакции человека на данный смысл.* Иначе говоря, будем считать, что формула (2.1) является косвенным показателем степени значимости i-го действия для человека-оператора. В общем случае можно говорить о степени значимости для оператора не только предстоящего действия, но и поступившей информации о сложившейся ситуации, оценивая таким образом уровень его эмоциональной реакции на их смысл.

Изложенный выше подход к оценке значимости для оператора данного предметного действия является довольно приближенным. Он не учитывает, что действие может приобретать для человека смысл не только в связи с данной, но и с другой деятельностью. К тому же в формуле (2.1) приняты во внимание только четыре фактора, которые, вероятно, не исчерпывают всех причин, могущих вызвать переживания оператора в связи с выполнением того или иного действия. В этой формуле не учтен и тот факт, что с усилением мотива деятельности значимость отдельных действий будет соответственно возрастать. Здесь фактически оцениваются только уровни препятствий и опасностей, которые усматривает оператор в отдельном действии, и по этим данным определяется относительная значимость этого действия в рассматриваемой системе деятельности. Поэтому формулу (2.1) следует рассматривать лишь как частный случай, показывающий принципиальную возможность установления приближенных количественных оценок значимости для человека-оператора отдельных управляющих действий.

Как известно, деятельность человека по преодолению препятствий может быть движима не только конкретными мотивами, обусловливающими выбор ее цели, но и некоторыми общими мотивами, определяющими стратегию поведения оператора: направленностью *на достижение цели* или *на избежание*

---

[8] Леонтьев А. Н. Потребности, мотивы и эмоции. [Конспект лекций]. М., 1971, с. 17.

*неудачи*[9]. В операторской деятельности проявляются обычно оба этих мотива. Причем интенсивность каждого из этих общих мотивов оказывается обусловленной как степенью трудности возникшей задачи, так и индивидуальными особенностями оператора. Ведущим общим мотивом деятельности оператора обычно является достижение цели и внесение своего «вклада» в коллективную систему труда. Однако деятельности оператора присущи некоторые специфические особенности, способствующие проявлению мотива избежания неудачи.

Экспериментально установлено, что сила проявления того и другого мотива зависит от степени подкрепления результатов деятельности одобрением или порицанием. В операторской деятельности эти подкрепления осуществляются довольно неравномерно. Так, достижение цели для опытного оператора является нормой, поэтому это событие обычно специально не подкрепляется похвалой и не вызывает у оператора особых эмоций. Неудача же в деятельности оператора является сравнительно редким событием, часто связанным с материальным и моральным ущербом, — событием, которое, как правило, всегда подкрепляется порицанием, а порой и наказанием. К тому же известно, что для проявления отрицательных эмоций достаточно небольшой неудачи, тогда как для создания положительных эмоций требуется высокий уровень успеха. Все эти факторы способствуют проявлению в деятельности оператора также и мотива избежания неудачи.

Теперь остановимся на вопросе: как отражаются на деятельности оператора те эмоции, которые порождаются ее отдельными действиями? В общем случае эмоции, как отмечал Спиноза, «увеличивают или уменьшают способность самого тела к действию, благоприятствуют ей или ограничивают ее»[10]. Однако установлено, что та категория эмоций, которая здесь рассматривается, — *эмоции, порождаемые целенаправленной деятельностью,* — как правило, *благоприятствует этой деятельности.*

Так, В. Кеннон (W. Cannon)[11] одним из первых показал, что в сложных ситуациях, требующих быстрых и решительных действий, у человека возникают эмоции, которые выражаются в изменениях центральных, вегетативных, двигательных и других функций, что порождает энергетическую мобилизацию организма, направленную на преодоление трудностей, возникших на пути к цели, на приведение организма в состояние готовности к

---

[9] Atkinson J. Motivational determinants of risk-taking behavior. — «Psychol. Rev.», N 64, p. 359—361.

[10] Спиноза Б. Этика. Ч. III. О происхождении и природе эффектов. — Избранные произведения. Т. I. М., 1957, с. 456.

[11] Кеннон В. Физиология эмоций. Л., 1927, с. 173.

интенсивной трате энергии для достижения этой цели. Р. Лазарус (R. Lazarus)[12] считает, что ситуация угрозы порождает у человека защитную деятельность, направленную на предвосхищение категории опасности, на устранение или уменьшение ее отрицательного эффекта. При этом угроза мобилизует способности человека и активизирует процессы мышления, памяти, способствуя быстрому, порой не до конца осознанному поиску решения. П. В. Симонов, анализируя влияние эмоций, вызванных неопределенностью предстоящих действий, экспериментально установил, что такие действия «сопровождаются явно избыточной мобилизацией энергетических ресурсов организма»[13] и неэкономный расход энергии в этом случае вполне оправдан как с физиологической, так и с психологической точки зрения. Таким образом, исследования показывают, что *эмоции, порождаемые предметной деятельностью, выполняют в ней весьма целесообразные функции, способствуя мобилизации различных ресурсов организма на преодоление трудностей, опасностей в отдельных действиях и тем самым успешному выполнению этой деятельности.*

## II.1.5. УСТАНОВКА И САМОРЕГУЛЯЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Деятельности человека-оператора присущ сравнительно ограниченный круг целей и задач. Несмотря на то, что в разных условиях деятельности эти задачи варьируются и видоизменяются, все же между ними сохраняется известное сходство: все они разрешаются при помощи сравнительно узкого арсенала ответных действий. Поэтому оператору в своей практической деятельности приходится оперировать сравнительно ограниченным числом планов действий. Эти планы, в зависимости от задач, приходится корректировать, видоизменять, но в принципе их образуют довольно сходные элементы.

С другой стороны, в результате накопления опыта по управлению системой оператор все больше познает особенности тех задач, которые у него возникают, свои возможности по их разрешению, те обстоятельства, которые могут помешать выполнению действия и привести к срыву деятельности, а также последствия подобных срывов. Таким образом, с приобретением опыта оператор все полнее и разностороннее постигает роль каждого действия в общей деятельности и его смысл. Поэтому все более определенными становятся для него прогнозы вероятности успеха или неуспеха в данном действии, вероятности тех или иных его результатов. Следовательно, и уровень пере-

[12] Лазарус Р. Теория стресса и психофизиологические исследования. — В кн.: Эмоциональный стресс. Л., 1970, с. 178—208.

[13] Симонов П. В. Теория отражения и психофизиология эмоций. М., 1970, с. 65.

живаний, связанных с выполнением данного действия, становится более определенным и устойчивым.

При неоднократном выполнении такого действия и повторении связанных с ним переживаний у оператора будет формироваться соответствующая установка *к этому действию, проявляющаяся в неосознанной готовности, преднастройке перцептивных и мышечных структур организма к его выполнению и соответствующему эмоциональному подкреплению.*

Указанный психологический феномен, проявляющийся в самых разнообразных вариантах готовности, был разносторонне изучен Д. Н. Узнадзе[14], разработавшим *теорию установки,* и подтвержден многочисленными экспериментами как самого автора этой теории, так и его последователей.

Д. Н. Узнадзе рассматривал установку как специфическое состояние организма, порождаемое возникшей в нем потребностью и проявляющееся в ситуации, где эта потребность может быть удовлетворена. При этом явление установки расценивалось не как изолированная реакция, вызванная возникшей в данный момент потребностью, а как результат всех предшествующих деятельностей субъекта, как его особое целостное состояние, отражающее его прошлое и ориентированное на будущее.

Установка, по Д. Н. Узнадзе, проявляется неосознанно. Комментируя эти положения, М. Г. Ярошевский указывает, что установка «иной быть не может». Ведь актуально осознаваемыми у человека являются только объекты (данные в образах — чувственных и умственных), а не тот способ действия по отношению к ним, к которому индивид готов уже до осознания этих объектов и благодаря которому становится возможным само осознание»[15]. Таким образом, теория установки, вытекающая из теории предметной деятельности, позволяет с научно-материалистических позиций анализировать связь деятельности не только с осознаваемым, но и с неосознанным.

Итак, у оператора в процессе управляющей деятельности складываются соответствующие установки к отдельным действиям и сопутствующим им эмоциональным проявлениям. Всякий раз, когда появляется необходимость выполнить данное действие, в организме оператора возникает соответствующая готовность нервных структур с уровнем мобилизации, адекватным сложности и важности для него этого действия.

Сложившиеся у оператора отношения к отдельным действиям, закрепленные в установках, могут проникать и в орудийную сферу деятельности, распространяясь на предметы — приборы, органы управления, с которыми связаны действия. Так, например, у оператора энергосистемы, в практике которого не-

---

[14] Узнадзе Д. Н. Психологические исследования. М., 1966. 451 с.
[15] М. Г. Ярошевский. Психология XX столетия. М., 1971, с. 297.

однократно возникали аварийные ситуации, может сложиться ярко выраженная эмоциональная установка по отношению к аварийному табло, у летчика-истребителя — к ручке катапультирования.

Если объединить основные положения, изложенные в отдельных пунктах настоящего параграфа, то несложно заметить наличие следующей замкнутой цепи факторов. Те действия плана, которые, по мнению оператора, оказываются достаточно трудными и опасными, становятся для него и более значимыми. Более значимым действиям сопутствует более высокий уровень активации нервной системы и мобилизации организма. Эта связь закрепляется в установках. Поэтому при каждой встрече с такими действиями, где ожидаются трудности и опасности, организм реагирует на них мобилизацией энергетических ресурсов, что способствует успешности выполнения таких действий. Здесь обнаруживается схема саморегуляции, в которой фактор мобилизации внутренних ресурсов выступает в качестве средства компенсации повышенной сложности и опасности данного предметного действия. Очевидно, отдельным значимым действиям плана, в зависимости от степени их сложности и важности, будут соответствовать свои схемы саморегуляции с такими уровнями мобилизации, которые позволяют выполнять эти действия так же успешно, как и более простые. Для большинства же действий, которые не представляют для оператора особой значимости, саморегуляция и дополнительная мобилизация не требуются.

Таким образом, деятельность человека-оператора можно представить в виде цепи последовательных действий, в которой отдельным действиям, соответственно их значимости, сопутствуют определенные энергетические подкрепления. Можно также заключить, что *если модель потребного будущего, отраженная в плане, предопределяет общее направление деятельности человека-оператора, то сложившиеся у него отношения к отдельным действиям и установки предопределяют распределение энергии между отдельными действиями адекватно их значимости.*

## II.2. ПРЕДМЕТНОЕ ДЕЙСТВИЕ

### II.2.1. САМОРЕГУЛЯЦИЯ В ПРЕДМЕТНОМ ДЕЙСТВИИ

В предшествующем параграфе при анализе структуры деятельности человека-оператора было показано, что в отдельных предметных действиях, отличающихся высокой сложностью или опасностью, возникает процесс саморегуляции, который способствует их успешному выполнению. Этот процесс графически может быть описан блок-схемой (рис. 2.2), где иллюстрируются следующие связи.

Представление о задаче, которую предстоит разрешить в дан-

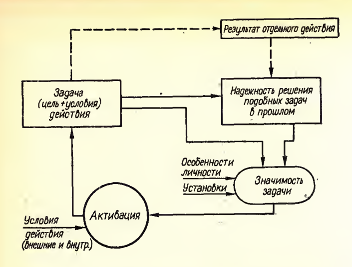



Рис. 2.2. Блок-схема саморегуляции в сфере энергетических процессов.

ном действии, соотносится в сознании оператора с представлением о том, как решались им подобные задачи в прошлом (т. е. с его надежностью по прошлому опыту). На основе такого соотнесения складывается оценка степени сложности предстоящей задачи и формируется ее значимость. Значимость порождает соответствующую активацию организма, которая вызывает мобилизацию его энергетических ресурсов, что способствует успешному выполнению сложного и важного действия. Иначе говоря, данная схема иллюстрирует, как смысл действия, точнее его эмоциональная сторона, порождает энергетическую мобилизацию организма и этим облегчает выполнение действия.

В указанной схеме регуляции, как видно из ее структуры, существует отрицательная обратная связь: чем более сложным представляется действие, тем большие ресурсы мобилизуются для его обеспечения. Следует отметить, что описанная схема саморегуляции функционирует в ограниченных пределах, зависящих как от сложности и важности для оператора решаемой задачи, так и от его профессиональных, психофизиологических и мотивационных особенностей (некоторые из этих факторов отмечены на схеме). Более подробно указанные факторы будут рассмотрены в гл. VI данного курса.

Теперь покажем, что выполнение действия регулируется не только эмоциональными проявлениями оператора, но и интеллектуальной стороной смысла, заключенного в данном действии, которая также порождает процесс саморегуляции. Как следует из упомянутых выше исследований [16], *сложность и неопределен-*

[16] Котик М. А. Указ. соч., с. 129—158.

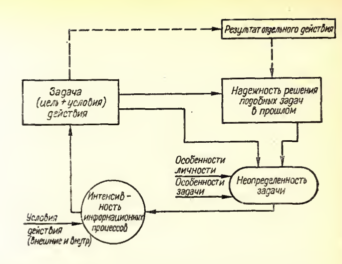



Рис. 2.3. - Блок-схема саморегуляции в сфере информационных процессов.

*ность предстоящего действия вызывает интенсификацию информационных процессов мышления, что также способствует успешности выполнения такого действия.* Указанный процесс саморегуляции может быть также иллюстрирован блок-схемой, приведенной на рис. 2.3.

Представление о возникшей в данном действии задаче соотносится в сознании оператора с представлением о надежности решения подобных задач в прошлом, в результате чего выводится суждение о степени неопределенности задачи относительно искомого результата. Чем более неопределенной признается возникшая задача, тем большая дополнительная информация привлекается для ее разрешения (с информационной модели, из памяти или реконструируется из самой задачи), что способствует успешному выполнению действия даже при высокой неопределенности решаемой в нем задачи. Таким образом, получается схема саморегуляции с отрицательной обратной связью. Справедливость действия такой схемы подтверждается экспериментальными данными. (Они будут приведены в гл. V).

Следует заметить, что если блок-схема, представленная на рис. 2.2, описывает саморегуляцию действия, порождаемую переживаниями смысла данного действия и опирающуюся на мобилизацию энергетических ресурсов организма, то блок-схема на рис. 2.3 описывает саморегуляцию, вытекающую из интеллектуальной стороны смысла этого же действия, но базирующуюся уже на интенсификации информационных процессов.

Интеллектуальная и эмоциональная сторона смысла в сознании человека неразрывно связаны. О связи энергетических и ин-

формационных проявлений человеческой деятельности и их взаимном дополнении свидетельствуют данные психофизиологии и кибернетического анализа [17]. Поэтому оба описанных процесса саморегуляции следует рассматривать в их неразрывном единстве, а допущенное в данном изложении расчленение этих процессов расценивать только как условное — позволяющее раскрывать разные стороны одного процесса.

Общность и взаимосвязь обоих этих процессов саморегуляции с явной очевидностью обнаруживается при их совместном рассмотрении на одной блок-схеме (рис. 2.4). Из приведенной схемы следует, что эти процессы характеризуются общностью структуры: им присущи одинаковые этапы регуляции. *На I этапе* возникшая задача соотносится с задачами, имевшими место в прошлом опыте, и идентифицируется [18] с отдельными из них. На результатах такого сопоставления базируется *II этап* процесса саморегуляции, когда формируется прогноз вероятности успешного разрешения новой задачи и на его основе — оценка степени ее сложности. Эта оценка в сфере энергетической регуляции проявляется в значимости задачи, а в сфере регуляции информационных процессов — в показателе ее неопределенности. *III этап* регуляции заключается в ответных реакциях организма на возникшую задачу. В сфере энергетической регуляции, адекватно значимости задачи, происходит развитие активации нервной системы, что вызывает мобилизацию ресурсов организма. В сфере же информационной регуляции, в соответствии со степенью неопределенности решаемой задачи, происходит интенсификация информационных процессов, расширение объема данных и уровня обобщения образа, отражающего эту задачу. Таким образом, в обеих системах саморегуляции, в зависимости от степени сложности разрешаемой задачи, включаются психофизиологические и психические компенсаторные механизмы такого уровня, которые обеспечивают успешное решение задачи данной степени сложности.

Результат описанных процессов саморегуляции в значительной мере зависит от способности человека правильно идентифицировать задачу и определять ее степень значимости и неопределенности. Подобные способности формируются в процессе накопления опыта выполнения предметных действий и обучения. Поэтому описанную систему саморегуляции следует рассматривать как *самообучающуюся*, т. е. повышающую с накоплением опыта свою способность к более точной и тонкой оценке возникающих задач, к прогнозированию их исходов и целесообразному использованию компенсаторных механизмов.

Взаимосвязь процессов саморегуляции, протекающих в сфере

---

[17] Веккер Л. М., Палей И. М. Информация и энергия в психическом отражении. — В кн.: Экспериментальная психология, вып. 3. Л., 1971, с. 61—66.

[18] Идентификация (от лат. identivico) — отождествление.

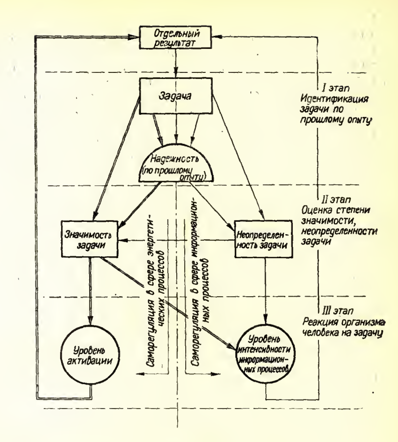



Рис. 2.4. Объединенная блок-схема саморегуляции.

энергетических и информационных процессов, представлена на блок-схеме (рис. 2.4) в виде перекрестных связей между обеими ее половинами. Неопределенность задачи, как было экспериментально показано П. В. Симоновым [19], порождает эмоциональную реакцию на нее (т. е. делает ее значимой), что, в свою очередь, помогает компенсировать недостающую информацию, способствуя разрешению задачи. При этом роль эмоций, по мнению О. К. Тихомирова [20], заключается в том, что они направляют и регулируют поиск недостающей информации. Применительно к блокам, выделенным в рассматриваемой схеме, это означает, что фактор значимости задачи способствует формированию образа

[19] Симонов П. В. Теория отражения и психофизиология эмоций. М., 1970, с. 65.

[20] Тихомиров О. К., Виноградов Ю. Е. Эмоции в функции эвристик. — В кн.: Психологические исследования, вып. 1. М., 1969, с. 3—24.

такого уровня обобщения, из которого вытекает искомое решение. Следовательно, задачи высокой неопределенности, приобретая значимость, порождают не только интенсификацию информационных процессов, но через активацию нервной системы также и энергетическую мобилизацию организма. Аналогично и высокая значимость задач, наряду с повышением активации и энергетической мобилизации, будет способствовать интенсификации информационных процессов. Очевидно, в том и другом случае взаимодействие рассматриваемых систем будет способствовать успешному выполнению сложных действий и разрешению неопределенных задач.

## II.2.2. СХЕМА ПРЕДМЕТНОГО ДЕЙСТВИЯ

В предшествующем изложении довольно подробно рассматривалась организация отдельных действий с точки зрения их значимости, т. е. порождаемых ими переживаний. Теперь более детально остановимся на организации предметных действий уже исходя из их содержательной (информационной) стороны. Такое рассмотрение удобно провести с опорой на блок-схему[21] (рис. 2.5), представляющую собой более полное и развернутое описание блок-схемы на рис. 2.3.

С левой стороны схемы изображен объект управления с его информационной моделью и органами управления. Правая сторона символизирует человека-оператора — его сенсорный «вход», центральную нервную систему, которая через моторный «выход» связана с органами управления. Цель, которая должна быть достигнута в данном действии, актуализируется в сознании оператора в виде образа-эталона (он изображен на схеме в виде отдельного блока). Под воздействием этого образа, как показывает Д. А. Ошанин, создается оперативная настройка сенсорного «входа» на восприятие текущего состояния управляемого объекта, с точки зрения его преобразования к новому состоянию, заданному целью. Поэтому оператор воспринимает с информационной модели не просто данные о текущем состоянии объекта, а рассогласование ($\Delta^{\alpha}$) между его фактическим состоянием и тем, которое должно быть достигнуто в результате данного действия.

Однако обнаруженное рассогласование является лишь пусковым сигналом к началу действия и само по себе еще не определяет его организацию. Организация предметного действия, как

[21] Более подробное описание данной блок-схемы приведено в нашей цитированной выше работе (Котик М. А., с. 145—158). При ее построении ряд положений был заимствован из работы Д. А. Ошанина «Психологическая структура предметного действия» (В кн.: Проблемы инженерной психологии. Материалы II Всесоюзной конференции по инженерной психологии, вып. 3. М., 1968, с. 3—11).

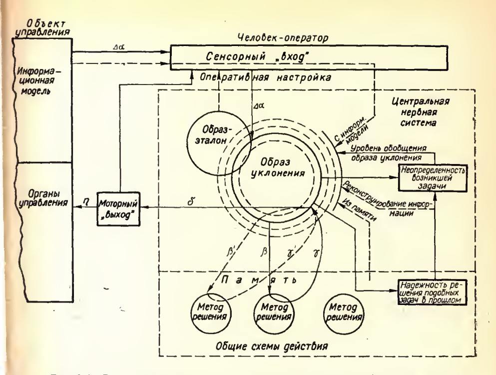



Рис. 2.5. Блок-схема саморегуляции в процессе наглядно-образного мышления.

показал П. К. Анохин[22], требует, чтобы это рассогласование было оценено на фоне всех имеющихся сведений о сложившейся в этот момент обстановке, отражающих внешние и внутренние условия, при которых должен действовать оператор. На базе такого сенсорного синтеза, являющегося важнейшим этапом рассматриваемого процесса, начинается формирование основного рабочего образа, вокруг которого организуется действие, — образа уклонения от эталонного (представлен в центре блок-схемы). Именно на основе этого образа и складывается концептуальная модель.

Концептуальная модель, как уже отмечалось, отражает возникшую перед оператором задачу с точки зрения путей ее разрешения исходя из трех главных факторов: сложившейся в данный момент ситуации, прошлого опыта, а также прогнозов на будущее. Соответственно этим факторам в рассматриваемую схему включены три блока: «образ уклонения», который символизирует

[22] Анохин П. К. Философский смысл проблемы естественного и искусственного интеллекта. — «Вопросы философии», 1973, № 6, с. 83—97.

настоящее, блок «надежности решения подобных задач в прошлом» и блок, отражающий «неопределенность возникшей задачи» относительно искомого результата, т. е. прогноз вероятности ее успешного разрешения.

Оператор должен дополнить образ уклонения сведениями о прошлом опыте и ожидаемых прогнозах данного действия и найти способ наиболее целесообразного приведения управляемого объекта в состояние, соответствующее образу-эталону. Ряд этапов разрешения этой задачи можно представить схематически. Вначале оператор оценивает степень неопределенности задачи относительно искомого результата. Это осуществляется посредством соотнесения сложившейся ситуации (образы уклонения) с надежностью разрешения подобных задач в прошлом. Затем организуется информационное обеспечение задачи, адекватное той неопределенности, которая в ней усматривается. Для этого берется дополнительная информация с информационной модели или из памяти; новая информация может также реконструироваться и из условий задачи. Благодаря такой информации, несущей дополнительные сведения для сенсорного синтеза, прошлому опыту и прогнозам на будущее, происходит как бы расширение образа уклонения до такого уровня обобщения, при котором оператор предполагает найти искомое решение.

На следующем этапе уже ведется поиск конкретного метода решения, который, как указывает Д. А. Ошанин, осуществляется в такой последовательности. Избирается определенный метод, который представляется оператору наиболее соответствующим возникшей задаче (связь $\beta$), и его применение мысленно проигрывается на образе уклонения (связь $\gamma$). Если избранный метод может дать приемлемый результат, то решение принимается к исполнению — приводится в действие моторный «выход» (связь $\delta$), который реализует управляющее воздействие на объект (связь $\eta$), что фиксируется сенсорным «входом» по линии обратной связи. Если же метод решения отвергается, то избирается другой метод (связи $\beta'$ и $\gamma'$), который снова проигрывается на образе уклонения. Заметим, что каждая такая проба оставляет свой информационный след на образе уклонения, привнося в него дополнительную информацию и расширяя тем самым его уровень обобщения. Если всеми известными методами оператору все же не удается найти решения, то это является свидетельством того, что задача оказалась более неопределенной, чем предполагалось, и служит сигналом к дополнительному поиску информации и расширению образа уклонения до такого уровня обобщения, при котором возможно будет найти решение.

Может оказаться, что оператор для решения сравнительно несложной задачи изберет образ с чрезмерной избыточностью уровня обобщения. При этом, если такие задачи будут повторяться, успешные решения будут вести к подкреплению только тех элементов и связей образа, на которые они опирались, из-

лишние элементы образа будут постепенно из него выпадать и образ будет сужаться, приближаясь к тому уровню обобщения, который адекватен степени неопределенности задачи. Прибегая к образному сравнению, можно сказать, что в процессе деятельности и ее саморегуляции *образ уклонения будет как бы «дышать», расширяясь и сжимаясь относительно такого уровня обобщения, который соответствует фактической неопределенности разрешаемой задачи.*

На основе приведенного описания может создаться впечатление, что при управлении системами, в которых происходят частые нарушения различных управляемых параметров (например, игровыми), в голове оператора будут непрерывно мелькать различные образы уклонения. Однако в действительности это обстоятельство не должно вызывать особых затруднений в деятельности оператора. В каждом новом образе уклонения будет много сходных сторон с образом-эталоном (ведь не все параметры системы нарушаются одновременно), поэтому можно предположить, что новый образ уклонения будет восприниматься как образ-эталон, но с поправкой на нарушение. Из экспериментальной психологии известно, что новый образ легче воспринимается, если его можно представить как старый, уже известный образ, но с поправкой. Это обстоятельство, очевидно, будет существенно облегчать деятельность оператора в условиях частых нарушений регулируемых параметров.

Заключая параграф об организации предметного действия, следует отметить, что здесь этот процесс рассматривался в виде последовательных этапов, развернутых во времени. Фактически же в действиях опытного оператора некоторые этапы протекают параллельно, а главное, все они свернуты во времени. Этому в значительной мере способствует тот факт, что при выполнении отдельных действий оператор использует выработанные навыки (подробнее о них см. в следующем параграфе), которые позволяют ему быстро и экономно, не нагружая сознания, осуществлять отдельные этапы предметного действия.

## II.3. ОПЕРАЦИЯ В ПРЕДМЕТНОМ ДЕЙСТВИИ

### II.3.1. ОПЕРАЦИЯ КАК РЕЗУЛЬТАТ НАВЫКА

Выше было показано, что, когда данное действие включается в более крупное действие и становится средством его выполнения, оно превращается в операцию. При этом цель действия, редуцированного в операцию, перестает актуализироваться в сознании, и оно используется как способ достижения цели другого, более крупного действия. И хотя по своим внешним проявлениям

операция подобна действию, однако утрата собственной цели придает ей иную психологическую структуру.

В связи с указанными особенностями операции, естественно, возникает ряд вопросов. Во-первых, *что же позволяет человеку осуществлять целенаправленный акт операции без выделения в сознании ее цели?* Во-вторых, *какова психологическая структура операции?*

1. Возможность выполнения операции без актуализации в сознании ее цели появляется в результате выработки соответствующих навыков. Н а в ы к а м и в общем случае принято называть *автоматизированные элементы сознательного действия, которые вырабатываются в процессе его выполнения*[23]. Навыки иногда определяют как вторичные автоматизмы, которые, в отличие от первичных, складываются не в результате филогенетического[24] развития, а только в процессе упражнения. Упражнение здесь понимается не просто как повторение одних и тех же актов и закрепление исходного акта, а как процесс саморегуляции, при котором результат каждого опыта используется для улучшения результата последующего и совершенствования всего процесса обучения.

В процессе становления навыка можно выделить ряд этапов: обобщения исходного действия, его постепенной интериоризации и сокращения до некоторой единицы деятельности с выходом его из-под сознательного контроля. Физиологически этот процесс заключается в изменении регуляции действия: более совершенной координации корковых центров и снижении возбуждения коры до уровня, который перестает отражаться в сознании, благодаря чему человек получает возможность выполнять данное действие без актуализации в сознании его цели.

Однако навык нельзя ограничивать только физиологическими изменениями, поскольку он проявляется и регулируется под воздействием психологических факторов. Это следует хотя бы из того, что автоматизированное действие (операция) всегда выступает как компонент более крупного действия, который подчиняется задаче, решаемой этим действием. К тому же автоматизация действия не исключает возможности осуществления — когда это требуется — и сознательного контроля над его выполнением (хотя такое вмешательство может иногда приводить к нарушению согласованности выполнения составляющих элементов действия).

---

[23] Следует отметить, что при определенных условиях полезные трудовые навыки могут формироваться и в тех элементах деятельности, которые ранее не были осознанными. Это заключение вытекает из экспериментального исследования, материалы которого представлены в нашей статье «О некоторых неосознанных действиях пилотов и возникающих на их основе навыках», опубликованной в коллективной монографии «Бессознательное: природа, функции, методы исследования», т. III (Тбилиси, 1978).

[24] Ф и л о г е н е з (от греч. phylon род, племя и génesis происхождение) — процесс исторического развития живых тел, их классов, видов.

Навыки, которые могут быть как элементарной реакцией на простой сигнал, так и сложной операцией, не являются затвердевшими, косными совокупностями сцепленных между собой элементов. Будучи устойчивыми структурами, они в то же время представляют собой некоторые обобщения, позволяющие варьировать способы их осуществления, гибко приспосабливая отдельные навыки к конкретным условиям задачи. Поэтому операции, фактически заключающиеся в использовании тех или иных навыков в определенных условиях, оказываются производными этих условий. Так, например, опытный шофер, переходя на другой тип машины, свои навыки вождения использует соответственно особенностям конструкции машины нового типа.

Примечательная особенность навыков, которую выделил Е. В. Гурьянов[25], заключается и в том, что они позволяют разрозненные ранее действия, выполняемые каждое по своему особому поводу, объединять в одной сложной операции, совершаемой по единому поводу.

Говоря о навыках в деятельности человека-оператора, следует прежде всего отметить разнообразие их видов. Наряду с двигательными, в деятельности оператора широко используются и перцептивные навыки (например, восприятия приборной информации), и навыки распределения внимания (между индикаторами, органами управления), и навыки, связывающие сенсорику с моторикой. Благодаря навыкам существенно сокращается время управляющих действий оператора, разгружается от отдельных из них сознание, что позволяет ему одновременно выполнять несколько порой несхожих между собой управляющих действий. Следует заметить, что уже сама специфика операторской деятельности, где приходится постоянно действовать с ограниченным кругом сигналов и одними и теми же органами управления, решая сравнительно сходные задачи, в значительной мере способствует выработке необходимых навыков.

2. Теперь рассмотрим второй вопрос, касающийся психологической структуры операции. Вопрос этот в общем теоретическом плане еще очень мало исследован. Более изучены структуры отдельных видов операций и, в частности, двигательного акта, акта восприятия зрительного образа. Оба вида операций представляют интерес для инженерной психологии, и на эти исследования мы будем в дальнейшем ссылаться в настоящей работе. Однако *для операторской деятельности наиболее типичны* не отдельные изолированные операции по восприятию информации или выполнению движения, а комплексные *перцептивно-моторные операции*, в которых восприятие приборной информации и двигательный ответ на нее соединяются в едином автоматизированном акте. Детальное изучение психологической структуры подобного типа операций было проведено В. П. Зинченко и его

[25] Гурьянов Е. В. Навык и действие. — «Учен. зап. МГУ», 1945, вып. 90, с. 133—148.

сотрудниками[26]. В качестве объекта исследования была принята деятельность слежения за движущимся сигналом, подобная той, которую выполняет оператор радиолокационной станции при сопровождении цели на экране электронно-лучевой трубки. Однако авторы изучали более сложный вид слежения: на экране имитировалось движение цели не только по горизонтали и вертикали, но также и ее удаление в глубину, т. е. исследовалось сопровождение цели в трехмерном пространстве. При этом внимание исследователей привлекли как сложившиеся структуры операций, так и сам процесс формирования этих структур, процесс образования навыка и операции.

На основе микроструктурного анализа операции слежения в ней был выявлен ряд структурных единиц, которые были названы функциональными блоками. В исследуемой операции авторы выделили три функциональных блока:

— блок формирования программ моторных инструкций (он связан с латентной[27] стадией начала движения),

— блок реализации программ (определяет стадию собственного движения),

— блок контроля и коррекции.

Указанные блоки фактически отражают соответственно ориентировочно-исследовательскую, исполнительскую и контролирующую части операции.

На основе микроструктурного анализа операции слежения в показателей было установлено, что между отдельными функциональными блоками существует сложная динамическая взаимосвязь. По мере тренировки и становления навыка происходит совершенствование каждого блока и сокращение затрачиваемого на него времени. Однако совершенствование этих блоков идет весьма неравномерно. Одновременное уменьшение временных затрат во всех трех блоках происходит только на первом этапе тренировки, после чего совершенствование блоков идет уже неравномерно. Быстрее всех формируется блок моторных программ, затем блок контроля и только после становления этих блоков, обеспечивающих когнитивную[28] базу для организации операции, завершается формирование блока реализации — ее исполнительской основы.

Было также установлено, что в начале выработки навыка границы между указанными блоками были довольно неопреде-

---

[26] Гордеева Н. Д., Девишвили В. М., Зинченко В. П. Микроструктурный анализ исполнительской деятельности. М., 1975. 174 с.; Зинченко В. П., Гордон В. М. Методологические проблемы психологического анализа деятельности. — В кн.: Системные исследования. М., 1976, с. 82—127.

[27] Латентный — от лат. latens скрытый.

[28] Когнитивность — от англ. cognition познание, знание.

ленными и размытыми. После его завершения структурные элементы операции стали четко дифференцируемыми. Исследования показали, что по ходу формирования функциональных блоков между ними складываются сложные отношения, проявляющиеся в обмене временем (когда время, затрачиваемое на одном блоке, сокращается за счет увеличения временны́х затрат в другом), обмене качеством (недостаток качества одного блока компенсируется качеством другого), обмене функциями (блок берет на себя выполнение некоторых функций другого блока). Подобное гибкое взаимоприспособление отдельных функциональных блоков проявляется не только в процессе формирования навыка, но и при приложении уже сформированного навыка к конкретным условиям задачи.

На основе анализа роли функциональных блоков в системе предметной деятельности в описанном эксперименте и при изучении восприятия зрительных образов В. П. Зинченко приходит к заключению, что иерархическая *схема* основных категорий *предметной деятельности может быть дополнена категорией функционального блока* и представлена в следующем виде:

*деятельность — действие — операция — функциональный блок.*

Целесообразность такого дополнения схемы предметной деятельности вытекает из следующих соображений[29]. Деятельность, как было показано, направлена на ее предмет — мотив; каждое из действий, образующих деятельность, направлено на достижение определенной предметной цели. Операция же, в трактовке А. Н. Леонтьева, является лишь способом выполнения действия, который зависит от условий его осуществления. Чтобы определить предметную основу операции, было предложено среди этих условий выделять, с одной стороны, *функционально значимые* с точки зрения задачи действия свойства (они-то собственно и определяют выбор операции), и с другой стороны — *предметные* свойства. *В качестве психологических единиц, отражающих* эти *предметные свойства операции,* и были *выделены функциональные блоки* — соответствующие структуры, выполняющие различные функции преобразования информации на низшем уровне обсуждаемой схемы деятельности.

При рассмотрении предложенной схемы категорий деятельности снизу вверх (от функционального блока к деятельности) несложно заметить, что каждый низлежащий элемент наполняет вышележащий предметными свойствами. При рассмотрении той

---

[29] Зниченко В. П., Муиипов В. М. Методологнческие проблемы аналнза структуры коикретных видов деятельиости в человеко-машниных системах. — В ки.: Материалы ко II Международной коифереиции ученых н специалистов стран — членов СЭВ н СФРЮ по эргономике (Бургас, НРБ). М., 1975, с. 3—15.

же схемы сверху вннз (от деятельностн к составляющнм ее категорням) можно наблюдать, как каждый вышестоящнй элемент наполняет ннжестоящнй содержаннем мотнвов, целей, смыслов. Такнм образом, в указанной схеме в одном направленнн через все ее элементы передается свойство осмысленностн, а в обратном — свойство предметностн. Поэтому оба этн свойства в соответствующнх пропорцнях прнсутствуют во всех категорнях схемы предметной деятельностн. И даже функцнональный блок — нанболее элементарная в данной схеме еднннца деятельностн, которая не проявляется на поведенческом уровне, — благодаря влиянню вышестоящнх категорнй остается ее пснхологнческнм элементом.

Проблема еднннц аналнза деятельностн н, в частностн, выделенне в структуре предметной деятельностн функцнональных блоков нмеет большое теоретнческое н прнкладное значенне для нняженерной пснхологнн. Так, напрнмер, прн аналнзе прнчнн ошнбочных действнй оператора недостаточно выявнть только операцню, в которой возннкает ошнбка, — необходнмо обнаружнть н функцнональный блок, которым она порождается. При аналнзе влняння утомлення на деятельность оператора прнходнтся также вннкать в глубь операцнн н определять воздействне возннкшего внда утомлення на ее отдельные функцнональные блокн. Аналнз деятельностн оператора на уровне функцнональных блоков может быть полезен н прн снстемотехннческом проектнрованнн человеко-машнннных снстем. Итак, в нняженерной пснхологнн нмеется много проблем, решенню которых может способствовать аналнз деятельностн оператора на уровне функцнональных блоков.

## II.3.2. ДВИГАТЕЛЬНЫЙ АКТ КАК ОПЕРАЦИЯ ПРЕДМЕТНОГО ДЕЙСТВИЯ

Двнженне в операторской деятельностн выступает обычно как способ осуществлення предметного действня — как операцня, направленная на разрешенне заключенной в нем задачн. Двнгательный акт оператор нспользует в самых разлнчных действнях: он лежнт в основе реалнзацнн управляющих воздействнй оператора на снстему, обеспечнвает лучшне условня воспрнятня ннформацнн н ее сенсорный сннтез, может нспользоваться в процессе мышлення н понска решення. Все это свндетельствует о важностн этого акта в операторской деятельностн н необходнмостн его более глубокого нзучення.

Рассмотрнм некоторые существенные особенностн органнзацнн двнгательного акта, вытекающне нз фундаментальных нсследованнй этой проблемы Н. А. Бернштейном [30] н представляющне нанбольшнй ннтерес с точкн зрення нняженерной пснхологнн.

[30] Бернштейн Н. А. О построенин движення. М., 1947, с. 255.

Автор проводит аналогию между организацией двигательного акта у человека и движением в машине. Элементам машины обычно присущи вынужденные движения, предрешенные заданной траекторией, т. е. имеющие только одну степень свободы (движение поршня мотора, вала машины и т. п.). Если у детали машины появляется вторая степень свободы, то при этом создается принципиально новое качество движения: две степени свободы превращают область движения в поверхность с бесконечным множеством траекторий на ней (например, движение пера самописца по плоскости). Таким образом, уже одна дополнительная степень свободы существенно расширяет область движения и выдвигает необходимость выбора траектории движения на плоскости.

Кинематические звенья человека обладают огромной подвижностью и большим числом степеней свободы, которые слагаются обычно как сумма их сочленений. Так, например, кисть руки относительно плечевого сустава имеет 7 степеней свободы, кончик пальца относительно грудной клетки — 16 степеней свободы (а относительно стоп ног — 30). И уже сам по себе этот факт делает задачу выбора движения чрезвычайно сложной.

У человека она еще более усложняется тем, что при движении отдельных кинематических звеньев создаются реактивные силы, а в процессе движения преодолеваются и внешние силы. Действие тех и других необходимо учитывать при организации двигательного акта. Все это необозримое число взаимосвязей и силовых взаимодействий делает практически невозможным для организма предварительное планирование динамики двигательного акта и однозначное определение будущего движения.

Чтобы направить движение руки по желательной траектории, нужно для каждого ее сочленения определить заданную траекторию, а также направление и скорость движения. А для этого требуется, чтобы организм располагал возможностями ограничивать избыточные степени свободы. В таком *преодолении избыточных степеней свободы* движущегося органа Н. А. Бернштейн усматривал *основную задачу координации движений.*

Можно выделить и другое существенное различие в организации движения у человека и элементов машины. Двигателями кинематических цепей человека, в отличие от машины, служат упругие тяжи — мышцы, перекинутые между звеньями. Основная сложность мышечного управления заключается в том, что двигательный эффект мышцы зависит не только от воздействующего на нее возбуждения, но и от того состояния, растяжения, в котором находится мышца в момент получения этого сигнала, т. е. одинаковое возбуждение мышцы при разных позах человека (разных растяжениях мышцы) будет вызывать различный двигательный эффект. Помимо того, и по ходу самого движения в каждый момент времени будут изменяться плечи, кинемати-

ские рычаги, инерционные силы и степени растяжения мышцы, что будет постоянно порождать новые условия движения.

Указанные особенности органов движения человека предопределили и специфику организации его двигательного акта. Поскольку при данном физиологическом состоянии мышцы ее напряжение зависит от начальной длины, то управляющий сигнал, поступающий к ней из центральной нервной системы, должен уже учитывать длину мышцы и все особенности ее состояния. Следовательно, *двигательный акт станет возможным только в том случае, если в нервную систему по ходу движения будут постоянно поступать сведения — сенсорные сигналы о текущем состоянии кинематической цепи и мышцы.* Он станет возможным, как указывал Н. А. Бернштейн, «лишь при условии тончайшего и непрерывного, не предусмотренного заранее, согласования центральных импульсов с явлениями, происходящими на периферии тела»[31], т. е. посредством *внесения поправок в движение по ходу его выполнения на основе сенсорных данных,* поступающих в процессе двигательного акта. Поэтому и весь принцип такого управления двигательным актом был назван **принципом сенсорной коррекции.**

Следовательно, организация двигательного акта базируется не на какой-то особой тонкости и точности эффекторных систем, а на циклическом взаимодействии между рецепторными и эффекторными процессами. Для выполнения двигательного акта организм должен научиться расшифровывать пространственно-кинематические представления и переводить их на язык реальной мышечной динамики, обеспечивая таким образом данные для сенсорного синтеза, необходимые при решении двигательных задач. Он также должен быть способным к объединению различных сенсорных сигналов (зрения, слуха, кинестезии и др.) в единую систему пространственно-временных координат и обобщению их с учетом условий задачи и прошлого опыта. Иначе говоря, *в основе организации двигательного акта лежит сенсорный синтез и вырабатываемые на его базе тончайшие коррекции эффекторных систем.*

Каким же путем данные сенсорного синтеза могут использоваться для коррекции эффекторных процессов? Подобная способность, по Н. А. Бернштейну, возникает благодаря тому, что *движение* на различных его этапах *регулируется образом* ожидаемого результата: данные сенсорного синтеза постоянно соотносятся с этим образом и при появлении расхождения между ожидаемым и фактическим ходом движения вырабатываются сигналы, корректирующие эффекторные системы.

С другой стороны, как показывают исследования А. В. Запорожца и его учеников[32], *способность построения образа, регу-*

[31] Бернштейн Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М., 1966, с. 44.

[32] Запорожец А. В. Развитие произвольных движений. М., 1960. 430 с.

*лирующего движение, появляется* у человека только *после освоения им перцептивного образа пространства,* в котором будет осуществляться это движение. Между тем такая способность формируется в результате активных ориентировочно-исследовательских и пробующих движений в этом перцептивном пространстве.

Объединяя эти положения, можно заключить, что регуляция двигательного акта осуществляется на основе соответствующего образа, контролирующего движение; этот образ, в свою очередь, создается и регулируется на базе образа перцептивного поля того пространства, в котором будет осуществляться движение. Исходя из вышесказанного, В. П. Зинченко с соавторами[33] приходят к заключению, что *при изучении двигательного акта следует рассматривать совместное действие механизма построения движения с механизмом его перцептивной регуляции.* Они отмечают, что между этими механизмами имеется существенное сходство: при построении зрительного образа преодолевается избыточность зрительного поля, подобно тому как преодолевается избыточность в кинематических звеньях при построении движения. Поскольку же зрительная система является одним из регуляторов двигательного акта, то она, естественно, должна обладать не меньшим числом степеней свободы, чем исполнительская система движения.

Таким образом, *для раскрытия механизмов двигательного акта следует изучать* не просто моторную, а *перцептивно-моторную регуляцию,* учитывая большое число степеней свободы как в регулирующих, так и в исполнительских звеньях этой системы. Примером применения такого подхода может служить описанное выше исследование деятельности оператора по слежению в трехмерном пространстве. Об основных результатах этого исследования уже говорилось выше. К сказанному теперь можно добавить следующее. Эксперимент показал, что, по мере выработки навыка, у испытуемых на основе активных действий формируется все более адекватный перцептивный образ пространства, благодаря которому двигательные акты приобретают все более пространственный характер, что способствует повышению качества слежения.

Как уже отмечалось, автоматизированный двигательный акт в процессе деятельности выступает как способ действия, т. е. как его операция, поэтому он оказывается подчиненным задаче, которая решается в данном действии. Исходя из содержания такой задачи *на действие* и соответственно на его операции обычно *налагаются* те или иные *ограничения,* выполнение которых становится необходимым условием при их осуществлении. Влияние подобных ограничений на двигательный акт можно раскрыть,

[33] Гордеева Н. Д., Девишвили В. М., Зинченко В. П. Указ. соч., с. 21.

если рассмотреть этот акт как некоторую систему регуляцни и представить ее в виде функции многих переменных.

Прнменнтельно к такнм функциям математнкн И. М. Гельфанд и М. Л. Цетлин[34] ввелн понятне «хорошо организованных» функций. К этой категорнн онн отнеслн такне функции, в которых переменные можно разделить на два подкласса: *существенные* н *несущественные* — и где эти переменные стойко сохраняют свою принадлежность к одному подклассу. Существенные переменные определяют главным образом протекание функцнн и ее итоговые результаты. Несущественные же переменные в целом не имеют определяющего влняния на протеканне функцни, хотя могут влнять на ее нзмененне и даже маскнровать ее существенные связн на небольшом интервале.

Подходя с этнх позиций к органнзации двигательного акта, в нем также можно выделнть, с точкн зрения разрешаемой задачн и наложенных на нее огранннчений, существенные и несущественные переменные. Прн этом Н. А. Бернштейн показал, что аппарат управлення двнгательным актом по-разному чувствителен к выдерживанню переменных той н другой категорин. Он реактивно-прнспособнтельно «уступчнв» к нарушениям переменных, которые являются несущественными для разрешаемой задачн, н не «бонтся» их варнатнвности. Зато по отношенню к программносущественным переменным он ««бьется» за требуемый результат, активно преодолевая препятствня, перепрограммнруясь по ходу»[35].

Разделенне переменных двнгательного акта на существенные и несущественные весьма ярко проявляется в операторской деятельностн. Прн решенин задач управлення оператор должен организовывать свон двнжения такнм образом, чтобы в любых случаях нх результат укладывался в те многочисленные огранннчення, которые налагаются этнмн задачамн. Причем все этн огранннчения выступают здесь в ролн существенных переменных. Несущественные же переменные нспользуются оператором для прнспособлення двнгательного акта к меняющнмся условиям осуществлення действня. Подобно тому как музыкант-нсполннтель в своих двнженнях огранннчен существеннымн переменнымн, заданнымн композитором (выбором тонов, нх последовательностн, продолжительностн н пр.), так н оператор огранннчен требованнямн задачн. Как у музыканта прн этом сохраняются шнрокне возможностн варьнровання несущественных переменных (силы звука, его тембра, внбрацин и пр.) для трактовкн музыкального произведення, так же н у оператора нмеется множество

[34] Гельфаид И. М., Цетлии М. Л. О иекоторых способах управлеиия сложиыми системами. — «Успехи математических иаук», т. 17, вып. I, 1962, с. 3—26.

[35] Бериштейи Н. А. Новые лииии в развитии физиологии и их соотиошение с кибериетикой. — «Вопросы философии», 1968, № 8, с. 85.

способов построить движение соответственно сложившимся условиям и выразить свое отношение к задаче за счет организации его несущественных переменных.

* * *

В настоящей главе были выделены основные понятия и закономерности деятельности, которые представляют наибольший интерес для инженерной психологии и будут использоваться в дальнейшем изложении курса. В следующей главе будет рассмотрена деятельность оператора только с точки зрения ее информационного аспекта — определения информационных показателей и закономерностей этой деятельности, а также возможностей их количественного или функционального выражения.

# Глава III. Информация, ее восприятие, преобразование и хранение человеком-оператором

## III.1. ИНФОРМАЦИЯ И ЕЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ВЫРАЖЕНИЕ

### III.1.1. ПОНЯТИЕ ИНФОРМАЦИИ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ

О важности понятия информации в инженерной психологии свидетельствует уже само определение этой научной области, предметом изучения которой, как было указано, является информационное взаимодействие человека с техническими устройствами системы. В наше время понятие «информация» принято рассматривать как одну из трех субстанций материального мира и ставить его в один ряд с категориями «вещество» и «энергия». Информацию сейчас расценивают как некоторое качество, присущее всем материальным системам и отражающее разнообразие их свойств или степень упорядоченности этих свойств. Это отражение осуществляется посредством соответствующего носителя информации, способного воспроизводить или сохранять указанные свойства. Так, например, носителем информации о данном свойстве объекта (предположим, о его температуре) может служить поворот сектора или изменение электрического потенциала. Подобные знаки, отражающие это свойство объекта, в данном случае выступают в качестве его заместителей, но замещают они его не физически (поворот сектора не является физическим проявлением температуры), а в информационном отноше-

нии. Объем передаваемой информации определяется тем, насколько адекватно и полно данные знаки воспроизводят это свойство.

При подобном подходе можно говорить об объекте — источнике информации — и о знаках — ее носителях — безотносительно к тому, куда будет поступать данная информация, кто и как будет ее воспринимать и использовать. Отсюда следует, что информация может объективно существовать и оцениваться независимо от ее получателя.

Для инженерной психологии наибольший интерес представляют вопросы восприятия и переработки информации человеком-оператором. С этой точки зрения информацию удобно определять как получение сообщений или знаний, рассматриваемых под углом их разнообразия. В таком случае информацию *можно характеризовать как нечто снижающее неопределенность наших знаний об ее источнике* или, иначе говоря, как то, что делает наши знания о данном свойстве источника более определенными, на фоне возможного разнообразия этого свойства.

На основе изложенного можно представить некоторую систему передачи информации, включающую в себя: источник информации, соответствующие знаки — носители информации об объекте — и субъект — приемник информации, к которому по каналу связи поступают эти знаки. В результате процесса передачи информации в приемнике (в данном случае в сознании оператора) создается соответствующий образ (в рассматриваемом примере с человеком — идеальный), который с той или иной степенью точности и полноты отражает реальный объект.

В этом процессе можно выделить два интересующих нас аспекта:

а) степень соответствия между объектом и знаком, несущим информацию о нем (аспект кодирования информации);
б) степень соответствия между знаком — носителем информации и образом, возникающим в результате его восприятия (аспект декодирования).

Оба эти аспекта в своем единстве и определяют тот образ, который создается в результате приема информации о данном объекте.

Поэтому образ приобретает свое значение объекта не только на основе самого отраженного свойства, но и под влиянием знаков, посредством которых передается сообщение об этом свойстве. Следовательно, для успешной передачи информации знак должен быть не только удобным ее носителем с технической точки зрения, но и достаточно точно и полно воспроизводить отражаемое свойство в приемнике и в информационном плане. Кроме того, форма выражения знака должна способствовать гибкой адаптации к его восприятию на различных уровнях отражения, она должна способствовать легкости его объединения с другими знаками информационной модели и образованию различных кон-

цептуальных моделей, адекватных задачам, решаемым человеком-оператором.

Все эти факторы обусловили особую актуальность (и в то же время высокую сложность) для инженерной психологии проблемы кодирования информации. Здесь возникает необходимость специального изыскания таких кодов, которые, реализуясь технически доступными средствами, в то же время с необходимой оператору полнотой и точностью отражали бы свойства управляемого объекта, оставаясь как бы «прозрачными» для этих свойств.

Информацию, используемую оператором в системе управления, можно расценивать со следующих точек зрения:

— по содержанию, которое она несет оператору, т. е. исходя из ее *семантической стороны* (о каком свойстве, каком параметре она свидетельствует и насколько в ней сохраняется данное содержание при различных условиях передачи информации);

— по *объему сведений,* т. е. по количеству информации, которое передается (с какой полнотой, точностью передаются эти данные);

— по ее практическому, прикладному значению в управляющей деятельности, т. е. исходя из *прагматической стороны* информации (насколько она полезна, как отражается на деятельности оператора, ее результатах).

С точки зрения прикладного использования информации оператором ее иногда разделяют на осведомительную и командную[1]. Первая свидетельствует о том, что параметры системы соответствуют заданной программе и не требуется управляющего вмешательства оператора, вторая указывает на необходимость управляющего воздействия.

Можно говорить об объективном значении информации и о том смысле, который она приобретает в сознании отдельного оператора. Анализируя смысл информации, можно выделить его содержательную и эмоциональную сторону.

Из приведенного выше определения информации как отраженного разнообразия вытекает количественный аспект этого понятия. Согласно этому определению, там, где имеются разные возможности и реализуется одна из них, подобная реализация уже несет с собой определенную информацию. Поскольку эти возможности можно выразить через вероятности, то таким путем, очевидно, можно количественно определить и информацию. На этом принципе и была основана статистико-вероятностная теория информации, к рассмотрению которой мы переходим.

[1] Ошанин Д. А., Венда В. Ф. О некоторых путях повышения активности операторского труда в системе «человек—автомат». — «Вопросы психологии», 1962, № 3, с. 23—36.

## III.1.2. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ ИНФОРМАЦИИ

Методы количественной оценки информации впервые были разработаны американскими учеными-кибернетиками К. Шенноном, Н. Винером в 40-е гг. и получили свое воплощение в специальной области кибернетики, известной под названием теории информации. Если раньше проблему выбора сообщения из имеющегося множества сообщений считали чисто психологической, то авторы этой теории подошли к ней как к статистической. Свои основные идеи К. Шеннон изложил применительно к системам передачи информации по техническим линиям связи в основополагающей работе «Математическая теория связи».

«Основная идея теории информации, — писал К. Шеннон, — состоит в том, что с информацией можно обращаться почти так же, как с такими физическими величинами, как масса и энергия». Следовательно, и транспортировка информации может рассматриваться подобно системе транспортировки массы и энергии.

При статистическом подходе количественная оценка информации вытекает из следующих соображений. Имеется задача с некоторым числом возможных ответов. Какой из них соответствует решению, неизвестно. С получением информации о задаче число возможных ответов может уменьшиться, даже свестись к единственному. Такую *информацию условились определять* как функцию отношения числа возможных ответов до и после получения информации, то есть *как функцию отношения апостериорной вероятности события к его априорной вероятности:*

$$I = f\left(\frac{P_1}{P_0}\right),$$

где: $I$ — количество информации,
$P_0$ — вероятность события до приема информации,
$P_1$ — вероятность события после ее приема.

Сущность теории информации можно пояснить, сравнивая ее со статистикой. Как статистика, так и теория информации имеют дело с разнообразием событий или элементов некоторой совокупности. Статистика рассматривает разнообразие как «зло» и пытается выявить степень общности — установить закономерность, несмотря на разнообразие. Теория же информации рассматривает разнообразие как положительное явление, на котором базируются возможности выбора. Эта теория стремится выяснить, чего можно достичь при передаче сообщения благодаря существующему разнообразию.

При использовании теории информации необходимо учитывать следующие ее принципы:

а) информация связана с реальным материальным носителем и может быть представлена в различных формах;

б) при оценке информации не учитывается ее содержательная сторона;

в) каждое событие богато многогранными деталями, и полное законченное описание его сделать невозможно; поэтому в данной теории в каждом случае рассматривают одну отдельную сторону события и связанную с ней информацию.

Следовательно, чтобы количественно выразить какую-либо информацию о состоянии объекта, требуется прежде всего выбрать характеристику объекта, которую она должна отражать, а также установить, что считать элементарным событием этой характеристики и на фоне какого множества должно рассматриваться это событие.

Количественная оценка информации, по К. Шеннону, дается на основе энтропии. Энтропия *является мерой свободы выбора* и определяет не то, что передано, а то, что может быть передано, так как она связана с ансамблем исходов некоторого события.

Предположим, что в данной системе состояние А наступает с вероятностью $p_1$. Энтропия $H_0$ (A) такого состояния будет:

$$H_0(A) = -\log_2 p_1. \tag{3.1}$$

Предположим далее, что такая неопределенность нас не устраивает, и мы запросили более конкретные данные о появлении события А. В ответ на запрос к нам поступило сообщение, которое определяет появление события А уже с большей вероятностью $p_1^*$. Энтропия такого сообщения оценивается по следующей формуле:

$$H_1(A) = -\log_2 p_1^*. \tag{3.2}$$

Поступившее сообщение в какой-то мере снизит исходную неопределенность — энтропию события. *Изменение энтропии, обусловленное полученным сообщением, и определит* количество информации ($I_k$), *содержащееся в данном конкретном сообщении* (частную информацию):

$$I_к = H_0(A) - H_1(A) = -\log_2 p_1 + \log_2 p_1^*. \tag{3.3}$$

Иначе говоря, информация, которую несет данное сообщение, оценивается «снятой» им энтропией.

Если бы сообщения о событии А поступали многократно (m раз) и в каждом отдельном случае с некоторой вероятностью ($p_1^*$), то средняя энтропия H (A) таких сообщений составила бы:

$$H(A) = -\sum_{l=1}^{m} p_l^* \log_2 p_l^*. \tag{3.4}$$

Полученная при этом средняя информация соответственно равнялась бы:

$$I = H_0(A) - H(A) = -\log_2 p_i + \sum_{i=1}^{m} p_i^* \log_2 p_i^*. \qquad (3.5)$$

Таким образом, информация, как и энтропия, является абстрактной величиной, значение которой не зависит от объекта (так же, как длина, вес, температура, информация имеют свой физический смысл, не зависящий от природы объекта, характеризуемого этим параметром).

При выражении энтропии и информации основание логарифма наиболее удобно брать равным 2. В этом случае за единицу измерения информации принимается неопределенность, содержащаяся в опыте, состоящем из двух равновероятных исходов (бинарная альтернатива), и измеряемая в двоичных единицах или единицах информации — битах.

Рассмотрим пример. Пусть событие A может иметь k равновероятных исходов; вероятность каждого исхода тогда будет $p = \frac{1}{k}$. В этом случае энтропию любого из k исходов можно определить следующим образом:

$$H(A) = -\log_2 \frac{1}{k}.$$

При равной вероятности всех исходов энтропия каждого события приобретает максимальное значение. Средняя энтропия H(A) всех возможных исходов тогда будет:

$$H(A) = -\sum_{i=1}^{k} \frac{1}{k} \log_2 \frac{1}{k} = -\log_2 \frac{1}{k}. \qquad (3.6)$$

Как же практически оценить информацию, которую получает оператор от контрольного прибора? Покажем это на конкретном примере. Оценим информацию об угле крена самолета, которую получает летчик со шкалы авиагоризонта (см. рис. 7.8).

Вначале по показателю крена определим энтропию объекта измерения. Самолет может занимать относительно своей продольной оси бесконечное число положений в пределах 360°. Однако в реальных условиях полета для обеспечения безопасности на данном типе самолета углы крена ограничиваются значениями $\gamma = \pm 30°$ и поэтому находятся в пределах угла $\Gamma = 60°$. Примем, что в указанных пределах у самолета возникают различные углы крена ($\gamma$) с равной вероятностью $p_i$. За меру дискретности измерения угла крена примем $\varepsilon$. Вероятность появления каждого из дискретных состояний, очевидно, будет: $p_i = \frac{\varepsilon}{\Gamma}$. Тогда, согласно (3.6), средняя энтропия системы до измерения будет составлять:

$$H_0(\gamma) = -\log_2 p_i = -\log_2 \frac{\varepsilon}{\Gamma}.$$

Углы крена по шкале авиагоризонта летчики отсчитывают с некоторой ограниченной степенью точности. Ее можно определить разрешающей способностью отсчетов и выразить через $\delta$. В пределах участка $\delta$ шкалы авиагоризонта заключено $k$ дискретных значений состояния самолета по крену. Так, например, если летчик отсчитывает прибор с $\delta=2^\circ$, а мера дискретности измерения углов крена составляет $\varepsilon=1^\circ$, то на участке $\delta$ будет два дискретных значения ($k=2$). Если считать, что эти значения появляются с равной вероятностью, то вероятность появления каждого из них будет: $p_k=\frac{\varepsilon}{\delta}$. Таким образом, после выполнения отсчета средняя энтропия системы окажется равной:

$$H_1(\gamma) = -\log_2 p_k = -\log_2 \frac{\varepsilon}{\delta}.$$

Изменение энтропии в результате отсчета по прибору (ее разница до и после отсчета), т. е. полученная при этом информация, определяется по формуле:

$$I = H_0(\gamma) - H_1(\gamma) = -\log_2 \frac{\varepsilon}{\Gamma} + \log_2 \frac{\varepsilon}{\delta} = -\log_2 \frac{\delta}{\Gamma}. \quad (3.7)$$

Чтобы использовать формулу (3.7) для определения среднего количества информации, воспринимаемого летчиками при отсчете угла крена по авиагоризонту, требовалось определить значение $\delta$. Это было сделано путем массового эксперимента с летчиками по считыванию показаний авиагоризонта, в ходе которого их отсчеты сопоставлялись с показаниями эталонного прибора, по которому задавались данные на авиагоризонте. В опытах было установлено, что погрешности отсчетов распределяются относительно заданных значений по нормальному закону.

Среднеквадратическое отклонение этого распределения оказалось равным $\sigma=0{,}7^\circ$. На основе статистического анализа было найдено, что погрешности отсчетов у 95% испытуемых не превышают $\pm 1{,}3^\circ$ (при доверительной вероятности $\beta=0{,}95$). Таким образом, можно было считать, что у летчиков разрешающая способность отсчетов углов крена по авиагоризонту составляет $\delta_0=2{,}6^\circ$.

В таком случае среднее количество информации, получаемое летчиком при отсчетах углов крена по авиагоризонту, согласно (3.7), будет:

$$I = -\log_2 \frac{\delta_0}{\Gamma} = 4{,}52 \text{ бит.}$$

Практически эта информация меньше, так как различные углы крена на шкале авиагоризонта появляются с разной вероятностью. Покажем это на том же примере.

В пределах рабочих углов крена $\Gamma=60^\circ$ летчик идентифицирует $k$ различных значений:

$$k = \frac{\Gamma}{\delta_0} = 23.$$

Предположим, что вероятность отсутствия крена ($\gamma = 0°$) будет $p_0^* = 0{,}4$, вероятность правого или левого крена $\gamma < 4°$ — по $p_1^* = 0{,}05$, вероятность наиболее типичного правого или левого крена $\gamma = 15°$ — по $p_2^* = 0{,}1$, вероятность каждого из остальных 18 дискретных значений углов крена — по $p_3^* = 0{,}0167$. В таком случае средняя информация об угле крена, воспринимаемая летчиком со шкалы авиагоризонта (согласно 3.5), составит:

$$I = -\log_2 p_1 + (p_0^* \log_2 p_0^* + 2p_1^* \log_2 p_1^* + 2p_2^* \log_2 p_2^* + 18p_3^* \log_2 p_3^*) = 3{,}6 \text{ бит.}$$

Таким образом, из расчетов следует, что если отдельные показания прибора будут появляться с разной вероятностью, то средняя информация, воспринимаемая с прибора, окажется меньше информации, которая снималась бы с его шкалы при равновероятных показаниях.

В проведенных расчетах количество воспринятой информации оценивалось только на основе возможностей оператора идентифицировать в заданный момент положение стрелки на шкале индикатора. Однако, как показывает опыт, оператор снимает со шкалы стрелочного индикатора значительно больший объем сведений об управляемом объекте. Для доказательства этого положения нами был проведен следующий эксперимент.

В лабораторных условиях испытуемые-летчики наблюдали за изменением показаний барометрического высотомера (УВ) — хорошо известного им по опыту полетов пилотажного прибора (рис. 5.1). На шкале индикатора демонстрировался вначале постепенный набор высоты, затем некоторые ее колебания и снижение высоты. От испытуемых требовалось по команде «отсчет» снять с прибора наибольшую информацию о полете. В опытах участвовало 27 человек, каждый испытуемый выполнял 30 отсчетов, о результатах которых делал соответствующую запись.

Опыты показали, что, кроме непосредственных измерений высоты, летчики снимали с этого индикатора весьма разнообразную дополнительную информацию. По характеру воспринимаемой информации испытуемых можно было разделить на 4 группы.

I группа летчиков отсчитывала только значения высоты, истолковав инструкцию как установку на максимальную точность отсчетов. Проведенные расчеты показали, что средняя воспринимаемая информация здесь составляла $I_I = 8{,}65$ бит.

Во II, наиболее многочисленной группе испытуемые, кроме показаний высоты, фиксировали также направление и скорость ее изменения. Определив возможности испытуемых идентифици-

ровать по высотомеру направление изменения высоты и скороподъемность, можно было подсчитать воспринимаемое в данном случае среднее количество информации, которое оказалось равным примерно $I_{II} = 11{,}2$ бит.

В III группе испытуемые фиксировали показания высоты, направления и скорости ее изменения, а также некоторые закономерности ее динамики. Воспринимаемая ими информация в данном случае оказалась равной уже примерно $I_{III} = 12{,}8$ бит.

В IV группе испытуемые определяли по высотомеру, кроме высоты, направления и скорости ее изменения, а также информацию о скорости полета и угла тангажа самолета, т. е., наряду с информацией о высоте и ее производных ($I_{II} = 11{,}2$ бит), они получали еще по нескольку бит информации о скорости полета и тангажа.

Следует отметить, что, помимо приведенных данных, отдельные испытуемые по показаниям высотомера выводили суждения о некоторых показателях режима и условий полета (выпуске шасси, проходе отдельных пунктов и т. п.).

Таким образом, данный эксперимент подтвердил положение о том, что оператор способен снимать с отдельного индикатора информационной модели довольно большую и разнообразную информацию о состоянии управляемого объекта. Как будет показано далее (см. гл. V), подобные возможности возникают у оператора благодаря тому, что он воспринимает приборную информацию не изолированно, а с опорой на заданный образ режима полета. При этом, как видно из данного эксперимента, отдельные испытуемые при восприятии показаний прибора опирались на образы различных уровней обобщения. Так, испытуемые I группы, которые восприняли поставленную им задачу как инструкцию разрешать неопределенность только по показателю высоты, оценивали показания прибора лишь исходя из этого образа. II группа испытуемых сочла задачу более неопределенной и разрешала ее с опорой на образ, отражающий также направление и скорость изменения высоты. Испытуемые III и IV групп разрешали еще более неопределенные задачи и вынуждены были для этого опираться на образы еще более высокого уровня обобщения. Следовательно, результаты данного эксперимента могут служить также подтверждением справедливости представленной во II главе схемы саморегуляции (рис. 2.3, 2.5), свидетельствующей о том, что, с увеличением неопределенности задачи, оператор для ее разрешения использует образ более высокого уровня обобщения. В рассматриваемой задаче расширение уровня обобщения образа осуществлялось за счет реконструирования дополнительной информации. В общем же случае это может достигаться и за счет получения дополнительных сведений с информационной модели, извлечения из памяти дополнительных данных, позволяющих раскрывать новые, более глубокие связи исходного образа. Указывая на эту сторону обобщения,

В. И. Ленин писал в «Философских тетрадях», что «уже самое простое *обобщение*... означает познание человеком все более и более глубокой *объективной* связи мира»[2]. В рассматриваемой деятельности оператора такое познание выступает как средство саморегуляции, способствующее разрешению задач различной степени неопределенности.

Теперь остановимся на методах количественной оценки информации, передаваемой в условиях помех.

Пусть в линии связи используется m различных сигналов: $A_1, A_2, \dots A_m$. Предположим, что сигнал $A_1$ передается с вероятностью $p(A_1)$, сигнал $A_2$ — с вероятностью $p(A_2)$, ..., сигнал $A_m$ — с вероятностью $p(A_m)$. В таком случае средняя энтропия события (β) передачи сигналов H (β) определится:

$$H(\beta) = -p(A_1)\log_2 p(A_1) - p(A_2)\log_2 p(A_2) - \dots \\ \dots - p(A_m)\log_2 p(A_m). \quad (3.8)$$

Если в линии связи имеются помехи, то при передаче одного сигнала возможны случаи ошибочного приема другого сигнала. Так, при передаче в условиях помех сигнала $A_1$ на приемном конце возможно получение правильного сигнала $A_1$ с вероятностью $p_{A1}(A_1)$, сигнала $A_2$ — с вероятностью $p_{A1}(A_2), \dots$, сигнала $A_m$ — с вероятностью $p_{A1}(A_m)$. В общем случае при передаче сигнала $A_i$ с вероятностью $p_{Ai}(A_i)$ может быть принят сигнал $A_i$, с вероятностью $p_{Ai}(A_2)$ — сигнал $A_2$ и т. д.

Очевидно, неопределенность события приема сигнала (α) будет зависеть от события передачи сигнала (β). В таком случае средняя энтропия сложного опыта $H\alpha(\beta)$ определится:

$$H_\alpha(\beta) = p(A_1)H_{A_1}(\beta) + p(A_2)H_{A_2}(\beta) + \dots \\ \dots + p(A_m)H_{Am}(\beta), \quad (3.9)$$

где: $H_{A_1}(\beta) = -p_{A_1}(A_1)\log_2 p_{A_1}(A_1) - $
$- p_{A_1}(A_2)\log_2 p_{A_1}(A_2) - \dots - p_{A_1}(A_m)\log_2 p_{A_1}(A_m)$,

$H_{A_2}(\beta) = -p_{A_2}(A_1)\log_2 p_{A_2}(A_1) -$
$- p_{A_2}(A_2)\log_2 p_{A_2}(A_2) - \dots - p_{A_2}(A_m)\log_2 p_{A_2}(A_m)$ и т. п.

$H\alpha(\beta)$ — оставшаяся неопределенность после получения сообщений.

Средняя информация $I(\alpha, \beta)$, полученная в событии приема (α) о событии передачи (β), определяется разностью энтропий:

[2] Ленин В. И. Полн. собр. соч. Изд. 5-е, т. 29, с. 161.

$$I(\alpha, \beta) = H(\beta) - H_\alpha(\beta) = -\sum_{i=1}^{m} p(A_i) \log_2 p(A_i) -$$
$$-\sum_{i=1}^{m} p(A_i) H_{Ai}(\beta), \tag{3.10}$$

или в более развернутом виде:

$$I(\alpha, \beta) = -p(A_1) \log_2 p(A_1) - p(A_2) \log_2 p(A_2) - \ldots$$
$$\ldots - p(A_m) \log_2 p(A_m) - p(A_1) H_{A_1}(\beta) -$$
$$- p(A_2) H_{A_2}(\beta) - \ldots - p(A_m) H_{Am}(\beta).$$

Очевидно, если бы в линии связи не было помех, то после приема сигнала неопределенности вовсе не оставалось бы: $H\alpha(\beta) = 0$, тогда $I(\alpha, \beta) = H(\beta)$.

Напротив, если бы в результате приема сообщения энтропия события оставалась прежней $H(\beta) = H\alpha(\beta)$, тогда $I(\alpha, \beta) = 0$. Это означало бы, что опыты $\alpha$ не зависят от опытов $\beta$, или, иначе говоря, что между переданным и полученным сообщениями нет никакой связи. В таком случае говорят, что передаваемая информация полностью «забивается» помехами.

Приведем пример использования формулы (3.10) в инженерно-психологических исследованиях. Предположим, что упомянутый выше эксперимент по считыванию показаний авиагоризонта был проведен не на земле, а во время полета в условиях турбулентной атмосферы (как принято говорить, в условиях «болтанки»). Усложнение условий восприятия показаний прибора можно расценивать как появление помех при передаче информации летчику.

Определим среднюю информацию о крене, полученную летчиком с авиагоризонта в условиях «болтанки».

Предположим, что погрешность отсчетов углов крена в данном эксперименте оказалась распределенной относительно заданных значений по нормальному закону, но с $\sigma = 2°$. При этом разрешающая способность отсчетов у 95% летчиков оказывается равной $\delta = 7{,}8°$.

Вначале оценим первое слагаемое в формуле (3.10) — среднюю энтропию передачи сообщения $H(\beta)$. Считая, что различные сообщения о крене передаются с равной вероятностью, то есть

$$p(A_1) = p(A_2) = \ldots = p(A_m) = p(A), \tag{3.11}$$

а также учитывая, что вероятность появления каждого воспринимаемого летчиками сообщения составляет $p(A) = \frac{\delta_0}{\Gamma}$, находим:

$$H(\beta) = -\log_2 p(A) = -\log_2 \frac{\delta_0}{\Gamma} = 4{,}52 \text{ бит.}$$

Второе слагаемое формулы (3.10) — среднюю энтропию приема данного сообщения — определяем исходя из следующих

соображений. Поскольку погрешности отсчетов в каждой дискретной точке шкалы распределены по одному и тому же нормальному закону, то в данном примере можно принять:

$$H_{A_1}(\beta) = H_{A_2}(\beta) = \ldots = H_{Am}(\beta) = H_A(\beta). \qquad (3.12)$$

Учитывая условие (3.11), второе слагаемое формулы (3.10) представим в виде:

$$H_\alpha(\beta) = -p_{A_2}(A_1)\log_2 p_{A_2}(A_1) - \\ - p_{A_2}(A_2)\log_2 p_{A_2}(A_2) - \ldots - p_{A_2}(A_m)\log_2 p_{A_2}(A_m). \qquad (3.13)$$

В нашем примере в формуле (3.13) можно ограничиться учетом только трех первых слагаемых, так как в диапазоне разброса погрешности ($\delta = 7{,}8°$) укладывается три участка с $\delta_0 = 2{,}6°$. При данном нормальном распределении по таблице нормированных функций Лапласа находим, что вероятность отсчета заданного значения $p_{A2}(A_2) = 0{,}484$, а вероятности отсчета соседних дискретных значений слева и справа от заданного будут соответственно: $p_{A2}(A_1) = 0{,}232$ и $p_{A2}(A_3) = 0{,}232$. Таким образом получаем второе слагаемое в формуле (3.10):

$$H_\alpha(\beta) = -p_{A_2}(A_1)\log_2 p_{A_2}(A_1) - p_{A_2}(A_2)\log_2 p_{A_2}(A_2) - \\ - p_{A_2}(A_3)\log_2 p_{A_2}(A_3) = 1{,}5 \text{ бита}$$

и среднюю информацию о крене, воспринимаемую летчиком в условиях помех, вызванных «болтанкой»:

$$I = H(\beta) + H_\alpha(\beta) = 3{,}0 \text{ бита}.$$

Следует отметить, что тот же результат можно было получить и другим, более коротким путем — непосредственно из формулы (3.5), задав $\delta_2 = 7{,}8°$:

$$I = -\log_2 \frac{\delta_2}{\Gamma} \approx 3{,}0 \text{ бита}.$$

Данный факт является свидетельством важного свойства информационных оценок — их аддитивности[3].

Процесс передачи информации характеризуется не только количеством бит переданного сообщения, но и скоростью такой передачи. В рассматриваемой теории эта скорость определяется

[3] Аддитивность (от лат. additivus прибавляемый) — свойство величин, состоящее в том, что значение величин, соответствующих целому объекту, равно сумме значений величин, соответствующих его частям, независимо от способа деления объекта на части.

количеством информации, переданным по линии связи за данный промежуток времени, т. е., исходя из (3.10), зависимостью:

$$V_I = \frac{I(\alpha, \beta)}{t} = \frac{H(\beta) - H_{\alpha}(\beta)}{t} \ \frac{\text{бит}}{\text{с}}, \qquad (3.14)$$

где $V_I$ — скорость передачи информации в условиях помех,
$t$ — время ее передачи.

Данная скорость часто ограничивается возможностями канала связи. Та максимальная скорость, с которой этот канал может передавать информацию, называется его *пропускной способностью*. Очевидно, чем больше пропускная способность канала связи, тем бо́льшую информацию можно передать по нему за единицу времени.

В последние годы проводилось много исследований по оценке пропускной способности информации у человека. Полученные результаты оказались весьма разноречивы. Многие исследования свидетельствуют о том, что эта величина составляет 4—6 бит/с. Однако имеются данные, что пропускная способность отдельных видов информации может достигать и нескольких десятков бит/с (до 50—70 бит/с).

Столь большая разница в данных о пропускной способности информации человека может быть обусловлена различиями условий экспериментов. Однако основной причиной больших расхождений в оценках являются, вероятно, неодинаковые подходы разных исследователей к определению мер дискретности и алфавита передаваемых сообщений при расчетах количества информации.

Наличие ограничений пропускной способности канала связи можно проиллюстрировать простыми примерами. Предположим, что требуется послать телеграмму, но пропускная способность канала нашей передачи ограничена деньгами. Поэтому мы вынуждены так подбирать слова (так кодировать информацию), чтобы изложить суть короче. Или другой пример, когда пропускная способность канала связи ограничивается возможностями приемника информации. Подобная ситуация возникает при разговоре с ребенком: здесь мы вынуждены искусственно ограничивать передаваемые сообщения и пользоваться только теми словами, которые доступны пониманию ребенка.

Одно из условий успешной работы оператора заключается в том, чтобы скорость поступления входной информации ($V_{Iвх}$) не превышала его пропускной способности ($V_{Iпр\,max}$), т. е. чтобы $\frac{V_{Iвх}}{V_{Iпр\,max}} < 1$. Если скорость поступления информации $V_{Iвх} > V_{Iпр\,max}$, то из-за перегрузки оператором будет восприниматься не вся передаваемая информация. Если же скорость поступления входной информации ($V_{Iвх}$) будет очень мала, то это может вызвать снижение активности оператора, что также поведет к понижению

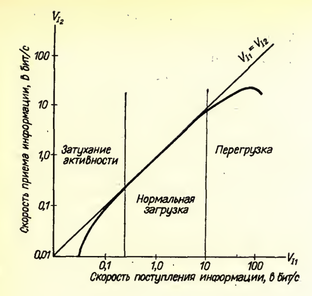



Рис. 3.1. Зависимость скорости приема информации от скорости ее поступления.

скорости приема ($V_{Iпр}$), по сравнению со скоростью поступления информации, и неполному восприятию поступающих сообщений. Указанная зависимость графически представлена на рис. 3.1 [4].

Одним из существенных вопросов, разрешаемых теорией информации, является выбор оптимального способа кодирования сообщений. С точки зрения этой теории выбор знаков — носителей информации должен осуществляться из соображений экономичности передачи. Это достигается посредством использования такого кода, который имеет наиболее высокую энтропию на символ. Для передачи сообщений посредством подобного кода требуется наименьшее число символов, а следовательно, и минимальное время на передачу, что делает возможным самое экономное использование канала связи.

Поскольку код с максимальной энтропией ($H_{max}$) является наиболее экономичным, то с этим уровнем энтропии принято сравнивать энтропию других кодов при оценке их экономичности. Показателем такого сравнения является о т н о с и т е л ь н а я э н т р о п и я (h) кода, которая определяется выражением:

$$h = \frac{H}{H_{max}}, \tag{3.15}$$

где H — энтропия данного кода.

[4] Военная инженерная психология. М., 1970, с. 55.

Другим сравиительным показателем экоиомнчности коднрования является характеристнка избыточностн кода (S), которая иаходится по формуле:

$$S = \frac{H_{max} - H}{H_{max}} = 1 - h. \quad (3.16)$$

Еслн исходить из положеиня, что экоиомнчиость передачн создается только за счет неопределенностн кода, то можио заключнть, что избыточность кода является показателем иеэкономичиостн передачн. Одиако еслн поиятне экономнчностн рассмотреть шнре и связать его, наряду с загрузкой лннин связн, также с результатами передачн сообщеиий, то можно показать, что нзбыточность косвенно способствует улучшенню этого показателя. Так, установлено, что благодаря нзбыточиости разговорного н пнсьменного языка создается более высокая иадежность передачн речн по каналу связн. Заметим, что в языке нзбыточность возинкает потому, что прн составлеинн текста буквы н слова выбнраются не пронзвольно, а в соответствии с грамматнческимн правнлами, сиижающими неопределеиность кодировання (только $^1/_3$—$^1/_4$ часть букв может выбнраться произвольно). И нменно благодаря тому, что существует такая избыточность кодировання разговориого языка, приемник подобиой информацни может безболезненно воспрнннмать текст, в котором пропущены отдельиые буквы н даже слова.

Как уже отмечалось в гл. I, при разработке информацнонных моделей приходнтся спецнально предусматривать некоторую избыточность ннформацни. Впрочем, такая избыточность возникает н сама собой, поскольку между нзмеряемымн параметрами существует вполне определенная, известная оператору функциональная связь. Поэтому при выходе из строя нндикаториого прнбора оператор обычно имеет возможность по показанням другнх нндикаторов реконструировать недостающую ннформацию.

При созданнн информацнонной моделн и выборе уровня избыточностн передаваемой в ней ннформации приходнтся соотносить потерн от неэкономной передачн ннформацин с выгодамн, которые создаются благодаря такой нзбыточности (напрнмер, повышение надежностн снстемы), н выбнрать оптнмальное ее значенне.

## III.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ В ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ

### III.2.1. ПРЕПЯТСТВУЮЩИЕ И БЛАГОПРИЯТСТВУЮЩИЕ ФАКТОРЫ

Сравнительная простота получения количественных оценок информации и объективность последних делают весьма заманчивой возможность их использования при оценке и анализе психических процессов. Однако в связи с этим возникает целый ряд вопросов относительно правомерности применения методов теории информации при изучении таких процессов.

Последние работы физиологов указывают, что одним из компонентов психической деятельности человека при восприятии, преобразовании и запоминании информации является *аппарат статистической обработки* поступающих сигналов — «счетный механизм», который действует во времени и опирается на принципы статистики. Этот аппарат усиливает различие между возбуждениями, вызванными внешними сигналами, и собственными помехами, возникающими в нервной системе. Подобная статистическая обработка, как было показано, способствует наиболее экономному и надежному восприятию информации. В процессе восприятия имеется к тому же элемент выбора из определенного рода альтернатив и *«взвешивания» вероятности* каждого события. Все эти факторы породили большие надежды на возможности использования статистических методов теории информации для количественных оценок психических процессов. К тому же психологические исследования особенностей восприятия и запоминания отдельных сигналов подтвердили наличие связи между вероятностной структурой предъявляемых сигналов и результатами деятельности.

Наряду с указанными факторами, благоприятствующими применению теории информации в психологии, имеется и ряд довольно веских причин, **препятствующих применению** этой теории (разработанной применительно к техническим средствам связи) для оценки и исследования психических процессов. Эти препятствия обнаруживаются уже при попытке использования теории информации для оценки сравнительно простого процесса восприятия отдельного самого простого объекта. Такой объект обычно характеризуется рядом различных свойств. Теория же информации в основном предназначена для количественной оценки информации об отдельных из связанных свойств объекта (например, о его весе, или размере, или температуре и пр.). Однако по таким отдельным данным весьма сложно получить полную информацию, которую воспринимает человек от всего объекта. Объясняется это рядом причин.

Во-первых, процесс восприятия не является простой суммой ощущений, поэтому полную информацию об объекте нельзя

определять путем суммирования информаций об его отдельных свойствах. Во-вторых, *восприятие* по своей природе *целостно* и *структурно:* в нем выделяются не только отдельные свойства объекта, но и их взаимосвязь. В-третьих, восприятие *избирательно:* не все свойства, не все связи в равной мере отражаются в сознании. Если, кроме того, принять во внимание, что восприятие *осмысленно* (т. е. связано с прошлыми знаниями), *константно* (обусловлено рядом психических механизмов), то станет очевидным, что нельзя оценивать информацию об объекте как сумму информаций об его отдельных свойствах.

Существуют и другие трудности, которые препятствуют количественной оценке информации, воспринимаемой от данного объекта. Чтобы определить информацию хотя бы об отдельном свойстве объекта, требуется знать возможный алфавит значений, которые может приобретать данное свойство, и вероятность появления каждого такого значения. Так, например, если речь идет о весе объекта, требуется знать все возможные веса, которые могут быть у объекта, и вероятность появления каждого из них. При этом, поскольку оценивается информация, воспринимаемая конкретным индивидуумом, то в расчет должны приниматься не объективные значения алфавита данного свойства и вероятностей его отдельных значений, а *субъективные меры,* которыми оперирует человек, воспринимающий это свойство. Получение же таких сведений представляет значительные трудности.

Из проведенного рассмотрения можно заключить, насколько сложно использовать теорию информации для оценки сведений, перерабатываемых на различных этапах процесса мышления в связи с процессами речи, памяти и пр. Для получения количественных оценок перерабатываемой информации приходится абстрагироваться от отдельных факторов, связей, идти на различные допущения. Все это ведет, как уже отмечалось, к тому, что один и тот же информационный процесс в исследованиях разных авторов расценивается существенно различными цифрами. Отсюда возникают сомнения в целесообразности применения теории информации для исследований и оценок психических процессов.

В науке существует немало методов, которые не удается использовать для решения глобальных задач данной области знания, но которые могут успешно применяться к частным задачам в ее отдельных прикладных отраслях и через эти частные задачи обогащать основную область науки. Такой благодатной почвой для приложения теории информации в психологической науке оказалась инженерная психология. Подобно тому, как ранее были выделены причины, затрудняющие применение теории информации в психологии, отметим теперь обстоятельства, **благоприятствующие** применению этой теории в инженерной психологии.

Во-первых, оператор получает информацию о состоянии уп-

равляемого объекта не столь предметно и целостно, как это бывает при непосредственном восприятии объекта. С *информационной модели эти данные поступают в виде* сравнительно *самостоятельных сообщений* об отдельных свойствах объекта. Так, оператор энергосети получает данные о работе системы в виде сообщений о напряжении, токе, сдвиге фаз и т. п. И здесь уже представляет интерес процесс восприятия оператором каждого отдельного сообщения. Для количественной оценки такого процесса наиболее пригодными оказываются методы теории информации.

Во-вторых, *оператор выводит суждение* о состоянии управляемого объекта *по весьма ограниченному числу показателей,* отображенных на информационной модели (а не по большому числу признаков, как это бывает при непосредственном восприятии объекта). Это обстоятельство облегчает общую оценку передаваемой информации об объекте.

В-третьих, поскольку здесь по каждому отдельному свойству объекта довольно *четко определен алфавит* возможных значений, не столь сложно оценить и вероятности их появления. Это подтверждают приведенные выше примеры по оценке информации, воспринимаемой летчиком с индикаторного прибора.

В-четвертых, *ограничения,* налагаемые на деятельность *оператора,* а также ограниченное число органов управления, естественно, *уменьшают количество вариантов ответных действий,* сужая таким образом сферу мышления. Все это в какой-то мере упрощает анализ процесса мышления и открывает некоторые возможности для приближенных оценок его этапов методами теории информации. Если, кроме указанных факторов, учесть, что в деятельности оператора обычно возникают сравнительно *однотипные задачи,* что операторы проходят одинаковый курс обучения и тренировки и им присуща некоторая общность, порой даже стереотипность мышления, то из сказанного можно заключить, что в инженерной психологии имеются немалые возможности для использования теории информации. В то же время, делая такой вывод, необходимо помнить, что все ранее перечисленные препятствия к применению теории информации в психологии существуют и в инженерной психологии, однако одни из них здесь не столь явно выражены, другие легче преодолеваются.

О практической возможности приложения теории информации для анализа и оценки деятельности оператора свидетельствуют исследования В. И. Николаева [5], который широко применяет количественные оценки информации для описания самых разнообразных показателей работы оператора и системы управления (быстродействия, точности, надежности, вплоть до распределения функций между человеком и машиной).

---

[5] Николаев В. И. Информационная теория контроля и управления. Л., 1973. 288 с.

А. И. Галактионов[6] использует количественные оценки информации для математического описания структуры деятельности оператора. Он выявляет группы взаимосвязанных событий — значений регулируемых параметров, отражающих данное состояние системы, и анализирует информационные возможности оператора по обнаружению нарушений в работе системы. Методами теории графов автор представляет логические связи, существующие между отдельными событиями, а методами теории информации оценивает ту неопределенность, которую разрешает оператор при обнаружении причины нарушения.

### III.2.2. ЗАВИСИМОСТЬ ВРЕМЕНИ РЕАКЦИИ ОТ КОЛИЧЕСТВА ВОСПРИНЯТОЙ ИНФОРМАЦИИ

В. Хик (W. Hick, 1952), анализируя результаты давних опытов Дж. Меркеля (J. Merkel, 1885) по измерению времени реакции при различном алфавите раздражителей, заметил логарифмическую зависимость между временем реакции (ВР) и числом дифференцируемых сигналов (n). После соотнесения этих данных с формулой энтропии для случая равновероятного выбора В. Хик обнаружил *наличие линейной зависимости между количеством средней воспринятой информации* (I) *в битах и временем реакции на нее,* которую он описал следующим образом:

$$ВР = aI + b, \quad (3.17)$$

где a и b — постоянные коэффициенты, зависящие от условий опыта.

Справедливость этой закономерности проверялась во многих различных опытах, где количество передаваемой информации изменялось разными способами, варьированием числа равновероятных стимулов, варьированием альтернативной и временно́й неопределенности их предъявления. И во всех случаях получалась указанная линейная связь. Было замечено, что при большой скорости предъявления сигналов росло число ошибочных реакций. Однако когда эти ошибки были учтены как потеря информации и воспринятую информацию оценили по формуле (3.10), то было обнаружено, что и в этом случае сохранялась закономерность (3.17). С изменением условий эксперимента, с изменением испытуемых менялись коэффициенты a и b, однако линейная зависимость закона Хика сохранялась.

В. И. Николаев[7], чтобы подчеркнуть высокую объективность этого закона, изобразил на одном графике экспериментальные данные многих авторов, полученные при определении времени восприятия зрительной информации (рис. 3.2). Теперь остано-

[6] Галактионов А. И. Представление информации оператору. М., 1969. 132 с.

[7] Николаев В. И. Указ. соч., с. 247—252.

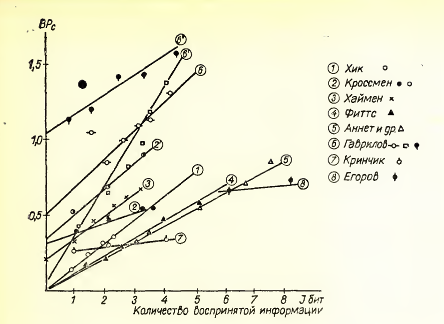



Рис. 3.2. Сводный график зависимости между количеством воспринятой информации и временем реакции на нее ВР(I) (по В. И. Николаеву).

вимся на объяснениях, которые даются этой весьма интересной количественной зависимости.

Сам В. Хик трактовал полученные результаты следующим образом. Если имеется m возможных сигналов, то восприятие каждого из них можно рассматривать как акт идентификации — соотнесения поступившего сигнала с образом этого сигнала, который хранится в памяти. Чтобы идентифицировать полученный сигнал, следует поочередно соотнести его со всеми m-образами сигналов, имеющимися в памяти. В результате каждого такого соотнесения происходит снижение энтропии задачи на некоторую определенную величину. При этом извлекается соответствующая информация, на что затрачивается определенное время. Поскольку такие пробы однородны и требуют одинакового времени, то, очевидно, общее затраченное время должно быть пропорционально извлекаемой из них информации.

А. Н. Леонтьев и Е. П. Кринчик [8] подходят к объяснению закона Хика с психологических позиций. Вероятность появления сигнала они рассматривают как показатель психологической неожиданности его возникновения.

[8] Леонтьев А. Н., Кринчик Е. П. О применении теории информации в конкретно-психологических исследованиях. — «Вопросы психологии», 1961, № 5, с. 25—46.

Чем реже появляется сигнал, тем бо́льшая неопределенность снимается с его появлением, а следовательно, с этим сигналом воспринимается и бо́льшая информация. Однако к восприятию редких сигналов организм подготовлен хуже, чем к восприятию частых, к встрече с которыми уже возникают навыки. Поэтому сигналы, поступающие чаще, т. е. с более высокой вероятностью (к которым человек в большей мере адаптируется), и несущие меньшую информацию, воспринимаются быстрее, чем редкие, но информативные сигналы. Авторы считают, что бо́льшая скорость реагирования на более вероятные сигналы в какой-то мере обусловлена и физиологическими факторами — повышением возбудимости нервных структур от часто поступающих сигналов.

Как показали экспериментальные исследования Е. П. Кринчик и С. Л. Рысаковой[9], связь между средней информативностью сигнала и временем реакции на него существенно зависит от фактора значимости сигнала. Для придания отдельным сигналам соответствующей значимости авторы в своих опытах вводили дополнительные «аварийные» подкрепления этих сигналов, для чего использовалось материальное, биологическое и моральное стимулирование: повышенная оплата за своевременную реакцию на такие сигналы или, наоборот, болевое наказание ударом тока за опоздание на них, или объявлялось, что запоздалая реакция на такие сигналы ведет к поломке аппаратуры. Полученные авторами результаты представлены на рис. 3.3. Штриховой линией показана зависимость времени реакции (ВР) на сигналы, несущие значимую информацию ($I_{зн}$). Как видно из характеристик, *фактор значимости обусловил существенное снижение времени реагирования* на информативно значимые сигналы. Линейная зависимость закона Хика здесь сохранилась, однако при меньшем коэффициенте b (угле наклона прямой). Получилось, что время реакции на значимые сигналы резко сокращается и с ростом их информативности увеличивается очень незначительно. Это заключение подтверждается сравнением указанной прямой ВР ($I_{зн}$) с характеристикой реагирования тех же испытуемых на обычные (фоновые) сигналы ВР (I), представленные на рис. 3.3 сплошной жирной линией. Заметим, что с отменой «аварийного» подкрепления испытуемые реагировали на те же, в прошлом значимые сигналы, как на фоновые /штрихпунктирная линия ВР (I)/. Полученные результаты авторы трактуют как результат изменения субъективного отношения испытуемых к сигналам высокой значимости. Это заключение подтверждается представленной на рис. 2.2 схемой саморегуляции и описанными далее (см. гл. VI) экспериментами, показывающими, что *с увеличением значимости сигналов повышается активация нервной системы, ее избиратель-*

[9] Кринчик Е. П., Рысакова С. Л. Влияние фактора значимости сигнала на процесс переработки информации человеком. — В кн.: Система «человек и автомат». М., 1965, с. 155—159.

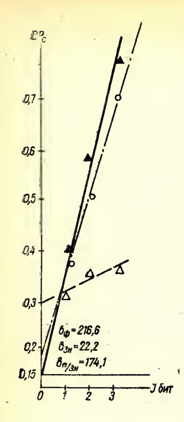



Рис. 3.3. Зависимость времеии реакции (ВР) от количества средией информации ВР(I) и значимой информации ВР($I_{зн}$) (по Е. П. Кричик и С. Л. Рысаковой).

*ность и чувствительность по отношению к таким сигналам, что способствует увеличению скоростных возможностей испытуемых.*

Обнаружение сравнительно простой математической зависимости между информативностью сигнала и временем его восприятия обусловило формирование некоторого теоретико-информационного направления по изучению психических процессов. Предполагалось, что это направление найдет широкое практическое приложение в общей и особенно в инженерной психологии. Однако в процессе дальнейшего изучения этого подхода выявился целый ряд факторов, свидетельствующих об его ограниченности и трудностях практического приложения.

Так, А. Н. Леонтьев и Е. П. Кринчик [10] показали, что одно и то же количество информации, но переданное посредством сигналов различного вида неопределенности, воспринимается за разное время. В частности, было установлено, что временну́ю неопределенность человек способен разрешать быстрее, чем альтернативную. Н. И. Чуприкова [11] на ряде примеров показала, что закон Хика справедлив в основном при ограниченном числе стимулов (до 6—10), а при их большем количестве происходит уже некоторая стабилизация времени реагирования. Было также установлено, что под влиянием различных факторов, усложняющих условия восприятия сигналов, возникают существенные искажения этого закона. Так, например, форма представления сигнала, его различимость, согласованность со способом реагирования отражались на времени реакции и нарушали линейную зависимость закона Хика. Эта зависимость нарушалась с накоплением опыта реагирования, под влиянием некоторых трениро-

[10] Леоитьев А. Н., Кричик Е. П. Переработка информации человеком в ситуации выбора. — В кн.: Инженериая психология. М., 1964, с. 316—317.

[11] Чуприкова Н. И. О стабилизации времени реакции при большом числе храиящихся в памяти эталоиов. — «Вопросы психологии», № 1, 1971, с. 50—52.

вок и ряда других психологических особенностей деятельности испытуемых.

Однако Дж. Леонард[12] высказал предположение, что все эти результаты не являются опровержением закона Хика, и аргументировал его следующим образом. Поведение человека в ситуации выбора обусловлено двумя источниками неопределенности:

— *неопределенностью стимулов,* связанной с вероятностью их появления (их энтропией);

— *неопределенностью кодирования,* обусловленной природой стимулов и ответов, соотношением между ними.

В понятие «неопределенность кодирования» автор включает также характеристики тренированности испытуемых, их жизненный опыт. При малой неопределенности кодирования внешние и внутренние причины будут сильнее сказываться на процессе восприятия информации и сильнее искажать закон Хика. Если же неопределенность кодирования будет велика, то этот фактор будет меньше влиять на восприятие, поэтому сильнее проявится эффект неопределенности стимулов и строже будет соблюдаться линейная зависимость этого закона.

Таким образом, оценивая возможности практического приложения теоретико-информационного подхода в инженерной психологии, следует отметить, что он пока применим при изучении восприятия сравнительно простых стимулов. С разработкой же методов учета категории неопределенности кодирования могут появиться возможности перевода на язык статистической неопределенности отдельных внешних и внутренних факторов и использования закона Хика для изучения восприятия также более сложных сигналов.

Имеются экспериментальные данные, показывающие, что при определенных условиях (где, вероятно, велика неопределенность кодирования сигналов) теоретико-информационный подход и сейчас оказывается пригодным для анализа практической деятельности оператора. Так, например, в упомянутом выше исследовании А. И. Галактионова показано, что время обнаружения нарушений в системе управления, а также время выбора способа действия по их устранению растет линейно с увеличением количества перерабатываемой информации. При этом указанные зависимости проявлялись только в деятельности хорошо тренированных и опытных операторов.

---

[12] Более подробно о его работе см.: Леонтьев А. Н., Криичик Е. П. Переработка информации человеком в ситуации выбора. — В кн.: Инженерная психология.М., 1964, с. 295—324.

### III.2.3. КОЛИЧЕСТВО ИНФОРМАЦИИ, СОХРАНЯЕМОЙ В ПАМЯТИ

Память в широком смысле принято рассматривать как процесс запечатления, хранения и воспроизведения информации от ранее полученных сигналов. Можно говорить о *произвольной* памяти человека-оператора, связанной с волевым актом запоминания определенных сведений, и о *непроизвольной* памяти — непреднамеренном запоминании отдельных характерных данных или элементов деятельности. Кроме того, различают кратковременную и долговременную память. Кратковременная память может быть *непосредственной* и *оперативной*. Непосредственная память определяется числом стимулов, кусков «материала», воспроизводимых сразу же после их однократного предъявления. Оперативная же память определяется способностью человека сохранять информацию только на тот период, который требуется для разрешения текущей задачи. Например, об ограничении скорости на данном участке шофер помнит только до первого перекрестка. Долговременную память принято оценивать отношением числа стимулов, которые сохранились в памяти спустя некоторое время (более 30 минут), к числу их повторений, необходимых для запоминания.

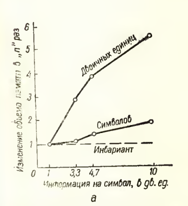
После такого краткого обзора характеристик памяти перейдем к рассматриваемому в настоящем параграфе вопросу о связи между памятью и количеством сохраняемой в ней информации. Обнаруженная законом Хика константность предельной скорости восприятия информации породила предположение о возможности существования константности и для предельно запоминаемого количества информации. Экспериментальная проверка этой гипотезы по запоминанию цифр, знаков, односложных слов, выполненная Дж. Хейезом (J. Hayes), показала, что *кратковременная память оказывается ограниченной не количеством запоминаемой информации,* как предполагалось, *а числом запоминаемых стимулов*. Предельное количество запоминаемых стимулов колебалась в пределах 7—9 и не было связано с заключенной в них информацией. Полученные результаты можно иллюстрировать следующей простой аналогией. Если кошелек вмещает только 7 монет среднего размера, то, чтобы заключить в него бо́льшую сумму денег, выгоднее брать монеты не трехкопеечного, а двадцатикопеечного достоинства. Так условно можно рассматривать и нашу кратковременную память, как бы состоящую из ограниченного числа ячеек: от умения заполнить каждую из них бо́льшим количеством информации будет зависеть и эффект запоминания.

П. Б. Невельский [13] провел ряд исследований по оценке коли-

[13] Невельский П. Б. Объем памяти и количество информации. — В кн.: Проблемы инженерной психологии, вып. 3. Л., 1965, с. 59.

чества информации, сохраняемого в долговременной памяти, и установил, что *объем долговременной памяти ограничен не числом стимулов, а количеством сохраняемой информации,* т. е. в долговременной памяти существует некоторая константа предельно запоминаемого количества информации. Характеристики изменения объема кратковременной и долговременной памяти, полученные соответственно в опытах Дж. Хейеза и П. Б. Невельского, представлены на рис. 3.4. На первом графике (рис. 3.4, *а*) видно, что число стимулов, сохраняемых в кратковременной памяти, не зависит от их информативности и остается почти неизменным, близким к инварианту. На втором графике (рис. 3.4, *б*) показано, что в долговременной памяти близким к инварианту оказывается уже объем запоминаемой информации (число двоичных единиц).

Указанные различия между кратковременной и долговременной памятью Б. Ф. Ломов[14] объясняет разной организацией поведения человека при том и другом виде запоминания. Кратковременная память связана прежде всего с первичной ориентировкой в окружающей среде и поэтому направлена главным образом на фиксацию общего числа вновь появившихся сигналов, независимо от их информационного содержания (которое, кстати, и нельзя определить по одному сигналу). Задача же долговременной памяти состоит в сохранении того, что необходимо на будущее. Она связана с организацией дальнейшего поведения человека и поэтому требует предвидения. Здесь решающую роль играют прогнозы вероятности, которые как раз и определяются количеством информации.



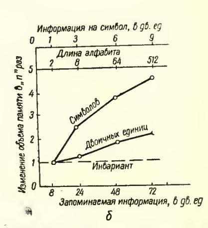




Рис. 3.4. Сравнение объема кратковременной и долговременной памяти: **а)** характеристики кратковременной памяти (по Дж. Хейезу); б) характеристики долговременной памяти (по П. Б. Невельскому).

[14] Ломов Б. Ф. Человек и техника. М., 1966, с. 213—215.

В пользу сказанного говорит и тот факт, что между высокоинформативными стимулами со временем обнаруживается и большее количество связей, чем между малоинформативными, что также способствует более прочному удержанию первых в долговременной памяти.

К исследованию вопросов психологии памяти иногда подходят не с точки зрения закономерностей сохранения информации, а с точки зрения выявления закономерностей разрушения следов в памяти (Дж. Браун — J. Brown[15]). При этом используются положения теории информации: забывание расценивается как разрушение следа под влиянием шумов и определяется по показателю отношения первоначального состояния следа к конечному его состоянию. След в памяти обычно обладает некоторой внутренней избыточностью, т. е. в нем имеется большее количество связей, чем это необходимо для сохранения данной информации, причем чем выше избыточность следа, тем слабее его забывание.

Приведем пример. Факт о том, что закон Хика представляет собой линейную зависимость, оставляет след в памяти. Сведения о факторах, обусловливающих искажение этого закона, создают, в свою очередь, другой след в памяти. Причем во втором следе — в сведениях о нарушении линейной зависимости закона Хика — будет, очевидно, уже содержаться и информация о том, что этот закон является линейным. Таким образом, часть информации второго следа является избыточной по отношению к информации первого следа. Подобная избыточность будет способствовать лучшему запоминанию того факта, что названный выше закон является линейным. Чем прочнее данный след хранится в памяти, тем в большее число связей он обычно включается, что способствует лучшему запоминанию информации с опорой на этот след и одновременно еще большему его упрочению. Затухание следов и их избыточность поддаются количественным оценкам, поэтому методами теории информации возможно устанавливать связь между количеством информации, переданным для запоминания, и показателем забывания этой информации.

Зависимость памяти от количества сохраняемой информации с различных точек зрения изучалась психологами Харьковского университета. Так, экспериментально было установлено, что можно существенно *повысить информационный объем памяти за счет* соответствующих *преобразований запоминаемого материала* (обнаружения в нем определенной организации или внесения ее извне, путем логической обработки этого материала). Благодаря этому часть новой информации идентифицируется с информацией, которая была в памяти уже ранее, в связи с чем понижается неопределенность сохраняемого материала, растет избы-

[15] Более подробно этот вопрос излагается в статье: Зинченко П. И., Невельский П. Б., Рыжкова Н. И., Сологуб В. П. Вопросы психологии памяти и теория информации. — В кн.: Инженерная психология. М., 1964, с. 284—287.

точность его информации, что, в свою очередь, способствует большему упрочению созданных им следов в памяти, а в результате их лучшему сохранению.

Подобный же эффект расширения объема памяти достигается за счет соответствующей *группировки запоминаемого материала,* причем хорошие результаты получаются в тех случаях, когда эта группировка совпадает с ранее существовавшей, ранее использовавшейся.

Запоминание материала может осуществляться при различных уровнях его детализации. «Куски», посредством которых оператор запоминает данный материал, иногда называют оперативными единицами памяти.

Наибольший объем оперативной памяти, как показали опыты Г. А. Репкиной[16], достигается при использовании таких кодов, которые допускают создание наиболее разнообразных оперативных единиц памяти. На основе экспериментов того же автора была установлена тесная взаимосвязь оперативной памяти с кратковременной и долговременной. Так, было показано, что *в ходе тренировок* оператора, *благодаря «перекачке» части информации в долговременную память* и формированию нового алфавита, нагрузка на кратковременную память падает, что как бы *увеличивает ее объем.*

Примером здесь может служить деятельность летчика с трехстрелочным индикатором. На этом самолетном приборе отражается информация о трех параметрах режима работы авиационного двигателя: о давлении топлива, давлении масла и его температуре (рис. 3,5). При использовании этого индикатора летчик усваивает, что при нормальной работе авиационного двигателя стрелки на шкале прибора совместно образуют фигуру в виде перевернутой буквы «Т». Такое заключение складывается на основе данных оперативной памяти. Установив эту закономерность, летчик сохраняет ее уже в долговременной памяти, идентифицируя теперь в процессе деятельности не отдельные стрелки, а сразу положение всех трех стрелок. Таким образом, благодаря «вычерпыванию» части информации из оперативной памяти в долговременную изменяются оперативные единицы памяти. Пока на шкале индикатора наблюдается перевернутое «Т», летчик знает, что все три указанных параметра двигателя в норме. Когда же форма этого знака искажается, это означает, что возникло нарушение в работе двигателя, в связи с чем оператору следует анализировать отдельно положение каждой стрелки рассматриваемого индикатора.

В данном примере закономерность взаимного расположения стрелок, зафиксированная вначале в оперативной памяти, оказа-

---

[16] Репкина Г. В. Об объеме оперативной памяти. — В кн.: Проблемы инженерной психологии. М., 1968, с. 133—140.

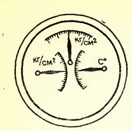



Рис. 3.5. Трехстрелочный индикатор.

лась справедливой для различных режимов работы системы и ее переход в долговременную память был полезным. Но возможны и такие случаи, когда данные оперативной памяти одного этапа работы человек переносит на другой этап, где они уже непригодны, и это ведет к ошибкам. Поэтому для оператора весьма важно и вовремя *«освобождать» оперативную память* от информации, которая стала уже ненужной.

## III.2.4. ЗНАЧИМОСТЬ ИНФОРМАЦИИ И ПОДХОДЫ К ЕЕ ОЦЕНКЕ

Теория информации не учитывает смыслового содержания сообщений. «Это и есть та цена, — как замечает один из известных специалистов в этой области Л. Бриллюен (L. Brillouin), — которую мы должны уплатить за возможность построения этой области знания»[17]. Однако, как было показано в предшествующем изложении, *деятельность оператора и все связанные с ней информационные процессы оказываются подчиненными именно содержанию разрешаемой задачи.* Из этого содержания вытекают и эмоциональные проявления оператора, которые, в свою очередь, отражаются на информационных и других характеристиках его деятельности. Следовательно, пренебрежение содержательной стороной сообщения для инженерной психологии нередко означает потерю наиболее существенного показателя информации. Оценки содержательной стороны информации представляют интерес для кибернетики, лингвистики и других наук. Поэтому предпринимаются самые разнообразные попытки изыскания методов оценки также содержательной стороны информации.

Для оператора наибольший интерес представляет семантическая и прагматическая сторона информации. Первая сторона, как отмечалось, определяет, в какой мере в информации сохраняется содержание, передаваемое в различных условиях, вторая — прикладную, практическую роль информации в данной деятельности. Методы оценки семантической стороны информации еще мало разработаны, а те, что имеются, предназначены в основном для анализа структуры языка, а не предметной дея-

[17] Бриллюен Л. Наука и теория информации. М., 1960, с. 15.

тельности человека. Прагматическую сторону информации принято характеризовать на основе ее ценности для получателя. Рассмотрим ряд методов определения этого показателя, существующих в кибернетике.

А. А. Харкевич[18] одним из первых предложил подход к определению ценности информации исходя из влияния сообщения на достижение цели. Ценность информации ($I_ц$) он определял по тому, *насколько полученное сообщение способствует достижению цели,* выражая этот показатель количественно следующей зависимостью:

$$I_ц = \log_2 \frac{P_1}{P_0}, \qquad (3.18)$$

где $P_0$ — вероятность достижения цели до получения информации,

$P_1$ — вероятность достижения цели после получения информации.

Определяя ценность информации в тех же единицах, которые используются в теории информации, А. А. Харкевич, вероятно, хотел указать этим на близость его подхода к теории информации.

Р. Л. Стратонович[19] понятие ценности информации выводит из связи теории информации с теорией оптимального управления. Автор рассматривает систему случайных величин x и систему их оценок u. Средняя степень неопределенности существующих оценок определяется функцией штрафов c (x, u). Ценность же полученной информации находится по тому, насколько эта информация минимизирует функцию штрафов, т. е. делает оценки более определенными.

М. М. Бонгард[20] определял ценность информации исходя из того, насколько она снижает степень неопределенности (трудности) решаемой задачи. Так, если задача с n равновероятными исходами имела начальную неопределенность $H_0 = -\log_2 n$, а после поступления сообщения q относительно вероятности распределения ответов p ее неопределенность стала $H_1 = H(p\,|\,q)$, то ценность информации такого сообщения, по М. М. Бонгарду, будет составлять:

$$I_ц = -\log_2 n - H(p\,|\,q). \qquad (3.19)$$

При таком подходе *ценность информации определяется* уже не по ее влиянию на статистическую неопределенность отдельных

[18] Харкевич А. А. О ценности информации — В кн.: Проблемы кибернетики, вып. 4. М., 1960, с. 53—57.

[19] Стратонович Р. Л. О ценности информации. — В кн.: Техническая кибернетика, вып. 5. М., 1965, с. 3—12.

[20] Бонгард М. М. О понятии «полезная информация». — В кн.: Проблемы кибернетики, вып. 9. М., 1963, с. 71—102.

сообщений, а *по тому, в какой мере она снижает неопределенность самого метода решения.* Здесь может учитываться и ложная информация, повышающая неопределенность задачи.

Названные подходы могут быть использованы как для определения ценности информации для человека, так и информации, введенной в ЭВМ (оцениваемой, очевидно, также с позиции человека — с точки зрения получения требуемого результата). Указанные методы определяют ценность информации для человека исходя из ее значения для него (а если в указанные формулы подставить субъективные оценки неопределенностей, то исходя из ее смысла).

Очевидно, осознание человеком степени ценности полученной информации будет вызывать у него соответствующие положительные эмоции. Поэтому *приведенные показатели могут служить* также *некоторыми косвенными мерами уровня положительной эмоциональной реакции человека на информацию.* В предшествующем изложении неоднократно использовалось понятие «значимость». Однако там оно связывалось с уровнем эмоциональной реакции оператора на трудности, опасности, которые возникают или прогнозируются в деятельности (с этих позиций и была получена зависимость 2.1).

Таким образом, можно, очевидно, вести речь *о двух категориях эмоциональных реакций оператора на информацию:* о реакциях на ценную информацию и о реакциях на информацию, свидетельствующую о предстоящих трудностях, опасностях, — ее можно назвать тревожной.

Для различения информации с точки зрения этих двух категорий эмоциональной реакции на нее можно использовать термины з н а ч и м о с т ь - ц е н н о с т ь и з н а ч и м о с т ь - т р е в о ж н о с т ь, которые в иерархии информационных понятий занимают следующее место:

*информация* → *семантическая*; → *прагматическая*
*прагматическая* → *значение*; → *смысл*
*смысл* → *интеллектуальная сторона смысла*; → *эмоциональная сторона смысла*
*эмоциональная сторона смысла* → з н а ч и м о с т ь - ц е н н о с т ь; → з н а ч и м о с т ь - т р е в о ж н о с т ь

При использовании указанных понятий приходится учитывать их относительность. Так, например, информация об аварии является для оператора значимой-тревожной. Однако поскольку она предупреждает его об опасности и тем самым способствует ее избежанию, то одновременно она является и значимой-ценной.

Степень значимости-ценности информации может количественно оцениваться посредством формул (3.18) или (3.19), а значимости-тревожности — исходя из зависимости (2.1). В гл. IV и V будет экспериментально показана возможность определения степени значимости-тревожности информации по величине временных (4.20) и точностных (5.15) ограничений, возникающих в деятельности оператора.

## III.3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА

### III.3.1. ВОСПРИЯТИЕ ИНФОРМАЦИИ

В предшествующих параграфах настоящей главы были рассмотрены методы получения количественных оценок информации и некоторые функциональные закономерности, присущие психической деятельности при ее восприятии и хранении. Из всего изложенного вытекает, что приложение аппарата теории информации для анализа психических процессов возможно только в том случае, когда уже установлены единицы психической деятельности, которыми оперирует человек при решении той или иной задачи, связи между этими единицами, особенности их использования и т. п. Поэтому при изучении информационных процессов деятельности оператора наиболее существенно выявление именно этих закономерностей и анализ их качественной стороны. Остановимся на рассмотрении этого круга вопросов.

За исходный пункт анализа информационной деятельности оператора удобно принять момент восприятия оператором задачи. В процессе восприятия можно выделить три основных этапа: обнаружения, индентификации и интерпретации информации. Рассмотрим кратко особенности информационных процессов в операторской деятельности на трех указанных этапах.

Процесс **обнаружения информации**, в зависимости от характера деятельности оператора, может приобретать в ней различный удельный вес. Существует специализация операторов (например, операторы дальнего или ближнего радиообнаружения), обнаружение информации для которых является основной целью их деятельности. В других видах операторского труда, где акт обнаружения информации связан с трудностями, а своевременное ее необнаружение чревато опасностями, акт обнаружения приобретает функции самостоятельного действия (например, у оператора энергосистемы). В третьих видах труда оператора (например, в игровых системах) акт обнаружения информации выступает, как правило, в качестве операции.

В каждом режиме работы управляемой системы оператору известны возникающие при этом типовые задачи, которые

обычно обнаруживаются по комплексу сигналов на информационной модели. Среди таких сигналов, несущих информацию о задаче, не все сигналы в равной мере отражают ее содержание. Поэтому оператор обычно концентрирует свое внимание на тех сигналах, по которым задача может быть обнаружена наиболее вероятно и быстро. Любой сигнал образуется комплексом признаков, вытекающих из его модальности, пространственно-временных характеристик и прочих особенностей. Из опыта управления оператору известны наиболее выразительные и примечательные признаки отдельных сигналов, которые он использует для быстрого обнаружения характерных сигналов и стоящих за ними задач.

Обнаружению сигналов обычно препятствуют помехи — шумы различного вида (внешнего и внутреннего происхождения). Психофизиологический аспект чувствительности оператора и обнаружения отдельных сигналов в различных условиях будет изложен в гл. IV. Здесь же рассмотрим этот вопрос только в информационном плане.

Шумы препятствуют успешному обнаружению полезных сигналов двояким образом: либо «забивают» (маскируют) эти сигналы, когда уровень шумов превышает уровень полезных сигналов, либо, выступая в форме, подобной полезному сигналу, вызывают ложные обнаружения. При этом проявление того или иного варианта мешающего действия шумов зависит как от объективных факторов (уровня шумов, их характера, соотношения с полезными сигналами и пр.), так и от субъективных причин — особенностей установки оператора. А установка эта может быть или на то, чтобы не пропустить полезный сигнал, или чтобы не допустить ложного обнаружения. Для определения вероятности появления ошибок обнаружения того или другого рода могут использоваться методы статистической теории решений[21]. Рассмотрим возможность такого применения этих методов.

Предположим, что закон обнаружения сигнала на фоне шумов и закон ложного обнаружения шумов вместо полезного сигнала описываются соответствующими нормальными распределениями. Такие распределения графически представлены на рис. 3.6,*а* для случая, когда сигнал оказывается существенно отличным от шумов и математические ожидания той и другой кривой ($m_c$ и $m_ш$) значительно удалены между собой. На рассматриваемом графике по оси абсцисс (по обе стороны от начала координат — точки L) отложен континуум решений: слева — сигнал отсутствует, справа — сигнал обнаруживается. При таком условии вероятность обнаружения полезного сигнала и вероятность принятия шумов за полезный сигнал будет определяться пло-

[21] Светс Дж., Тэинер В., Бердзалл Т. Статистнческая теория решений и восприятие. — В кн.: Инженерная психология. М., 1964, с. 269—335.

щадью под соответствующей кривой, расположенной справа от начала координат. Для рассматриваемого случая, как видно на рис. 3.6, *а*, почти вся площадь под кривой распределения полезного сигнала (она заштрихована) окажется в зоне обнаружения; в эту зону попадет и очень незначительная часть площади под кривой распределения шумов (она также отмечена особой штриховкой). Это означает, что в данном варианте почти всегда обнаруживается полезный сигнал, а ложные обнаружения очень невелики.

Условия обнаружения сигналов существенно усложнятся, если шумы будут близки к полезному сигналу и математические ожидания рассматриваемых кривых окажутся вблизи друг от друга. В таком случае, как видно на рис. 3.6, *в* (если к нему применить рассмотренный выше подход), вероятность обнаружения полезного сигнала снизится, а вероятность ложных обнаружений возрастет. В подобной ситуации показатели обнаружения сигналов будут существенно зависеть от решаемой оператором задачи и вытекающей из нее установки. Если условия задачи будут требовать *непременного обнаружения полезного сигнала,* невзирая на ложные обнаружения (т. е. главное — не пропустить полезный сигнал), то такая установка может графически интерпретироваться рис. 3.6, *б*. Здесь начало координат смещено влево (в точку L′) и почти вся площадь под кривой распределения полезного сигнала оказывается в таком случае в зоне обнаружения — справа от оси ординат. Однако при такой стратегии и большая часть площади под кривой распределения шумов тоже попадет в эту зону, т. е. и вероятность ложных обнаружений здесь существенно возрастет. Если же условия задачи будут выдвигать основное требование — *не допустить ложного обнаружения,* то такая

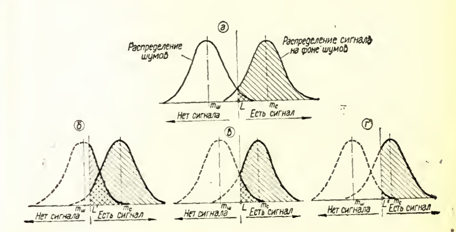



Рис. 3.6. Распределение вероятностей обнаружения сигнала на фоне шумов.

установка будет соответствовать рис. 3,6, *г*, где начало координат смещено вправо — в точку L″. При этом, как видно из рисунка, значительно сократится вероятность ложных обнаружений, но в то же время существенно снизится и вероятность правильных обнаружений полезного сигнала. Таким образом, *результаты обнаружения сигнала в условиях шумов будут зависеть от принятой оператором стратегии деятельности.*

Процесс **идентификации информации** рассматривается как акт отождествления обнаруженных сигналов с некоторыми образами, хранимыми в памяти. Поскольку оператор получает информацию в закодированной форме, то возможна ее идентификация как с образом сигнала на индикаторе (образом знака), так и с образом самого источника, который этот знак передает. В деятельности оператора чаще используется идентификация второго рода, т. е. узнавание по приборной информации состояний управляемого объекта. Подобный акт представляет собой *процесс декодирования,* заключающийся в преобразовании перцептивных образов сигналов в представление об объекте. Такое преобразование осуществляется обычно *посредством* процесса *ассоциации,* в результате которого при каждом обнаружении данного сигнала в сознании оператора систематически актуализируются связанные с ним представления об объекте. При этом в деятельности оператора используются главным образом ассоциации по смежности (если воспринимаются абстрактные сигналы) и ассоциации по сходству (при восприятии сигналов, подобных соответствующим свойствам объектов). Чем совершеннее код, тем в большей мере операция декодирования сводится к процессу ассоциации. И наоборот, при несовершенном коде процесс декодирования, кроме ассоциаций, должен дополняться уже более сложными мыслительными действиями.

В процессе управляющей деятельности оператор усваивает типичные связи между показаниями ряда индикаторов и отдельными состояниями объекта. С накоплением опыта эти связи уточняются и закрепляются в некоторые единые схемы, которые становятся для оператора определенными эталонами, позволяющими быстро и легко по отдельным комплексам сигналов идентифицировать текущие состояния управляемого объекта. Подобные *семантически целостные образования, формирующиеся в результате обучения и позволяющие оператору одномоментно и целостно воспринимать объекты внешнего мира, независимо от числа содержащихся в них признаков, называются* оперативными единицами восприятия[22]. Примером оперативной единицы восприятия может служить образ того же вышеупомянутого трехстрелочного индикатора (рис. 3.5), объединяющего в себе информацию о нескольких показателях управляемого объекта.

[22] Зинченко В. П., Мунипов В. М., Смолян Г. Л. Эргономические основы организации труда. М., 1974, с. 38.

Опытный оператор обычно ориентируется на восприятие оперативных единиц, отражающих не только нормальное состояние системы, но и различные ее отказы. Так, например, перегрев автомобильного двигателя шофер идентифицирует по некоторому сочетанию сигналов термометра воды и манометра масла, причем шоферу достаточно заметить любой из этих признаков, чтобы быстро, со сравнительно высокой вероятностью, диагностировать такой отказ.

Однако оператору далеко не всегда удается одномоментно идентифицировать возникшую задачу. Ему часто приходится, после обнаружения отдельных признаков, указывающих на возможность возникновения данной задачи, заниматься специальным *информационным поиском дополнительных данных,* подтверждающих это предположение. Такой поиск осуществляется путем сбора сведений с информационной модели, актуализации их в памяти, реконструирования дополнительных данных. В подобных случаях процесс идентификации оказывается уже *развернутым во времени.*

Процесс **интерпретации информации** является заключительным этапом восприятия — этапом, обусловливающим главным образом его осмысленность. Он служит непосредственным продолжением процесса идентификации и обычно направлен на *уточнение и дополнение полученных ранее сведений*. Такая корректировка идентифицированной информации особенно необходима в операторской деятельности, где узнавание задачи осуществляется обычно при неполной информации о состоянии управляемого объекта, ибо сам процесс кодирования данных о нем на информационной модели неизбежно связан с потерями информации (даже самый лучший код передает лишь отдельные приближенные сведения). Помехи при передаче информации и ее восприятии также вносят дополнительную неопределенность в полученные данные. Поэтому в процессе идентификации часто осуществляется лишь поверхностное узнавание состояния объекта, которое приходится уточнять и дополнять уже в процессе интерпретации информации.

В этом процессе осуществляется также трактовка воспринимаемой информации с *позиции решаемой задачи.* Для этого могут потребоваться некоторые дополнительные сведения, а следовательно, и определенный информационный поиск, направленный на восприятие ситуации исходя из конкретной задачи. Роль этапа интерпретации информации в общем процессе восприятия будет зависеть как от объективных факторов, вытекающих из формы предъявления информации и ее содержания, так и от субъективных особенностей оператора — его знаний, опыта и пр.

В результате процесса интерпретации информации завершается формирование концептуальной модели. Как уже указывалось выше, концептуальная модель складывается не только на основе воспринятой информации; она базируется также на полу-

ченных ранее знаниях о закономерностях функционирования управляемой системы, на знаниях, приобретенных в процессе практической деятельности. На основе воспринимаемой информации и накопленных ранее знаний формируется и третий существенный элемент концептуальной модели — предвосхищение, прогноз развития сложившейся ситуации, вероятности разрешения или неразрешения возникшей в ней задачи, а также возможных последствий в том и другом случае.

Концептуальная модель образуется в основном долговременной памятью. Однако в некоторых системах управления, особенно игровых, сигналы информационной модели могут по ходу работы системы быстро изменяться, порождая изменения отдельных динамических подвижных элементов концептуальной модели. Исходя из этого, иногда разделяют *концептуальные модели* на две категории: модели *долговременной* и *оперативной памяти*. Если первые отражают целиком и сравнительно глобально сложившуюся ситуацию, то вторые — лишь ее фрагменты, лишь комплексы ее динамически подвижных элементов (однако также с учетом прошлого опыта и предвидения).

Рассмотренные этапы процесса восприятия информации — обнаружение, идентификация и интерпретация — находятся в тесной взаимосвязи. В операторской деятельности, где приходится воспринимать сравнительно однотипные комплексы сигналов, часто вырабатываются соответствующие *навыки одномоментного восприятия типовой информации,* при которых все этапы этого процесса оказываются свернутыми во времени в одном автоматизированном акте. Однако, *когда появляется необычная информация* (это бывает, как правило, при отказах техники, самого оператора и прочих нетипичных нарушениях программы функционирования системы), часто возникает *необходимость развертывания процесса восприятия во времени и включения в него элементов информационного поиска.*

## III.3.2. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Итак, задача в операторской деятельности обычно возникает в результате процесса восприятия информации, указывающей на необходимость действия оператора и его вмешательства в работу системы. Такую информацию может содержать сигнал о нарушении в работе системы или сигнал к выполнению очередного действия плана. Рассмотрим несколько категорий задач, возможных в деятельности оператора.

К *первой категории* можно отнести хорошо знакомые задачи, для разрешения которых у оператора заранее выработаны автоматизмы сравнительно однозначных действий. Во *вторую категорию* включаются задачи, для разрешения которых оператор располагает набором соответствующих способов или правил действий. *Третья категория* объединяет задачи, для разрешения кото-

рых у оператора нет ни заранее заготовленных действий, ни правил для нахождения решения.

Для анализа особенностей выделенных категорий задач следует прежде всего уточнить то содержания, которое вкладывается в само понятие задачи. В психологической науке сложилось несколько подходов к определению этого понятия[23]. Задачу самым общим образом можно определить *как ситуацию, требующую достижения цели в заданных условиях и преодоления имеющихся на пути к ней препятствий* (по А. Н. Леонтьеву). Существует и более узкое определение задачи *как ситуации, где требуется найти неизвестное на основе использования его связей с известным* (по Г. С. Костюку).

Имеется и еще более узкое определение задачи *как ситуации, в которой требуется найти неизвестное, когда не задан способ его определения* (по А. Ньюэлу — A. Newell, Дж. Шоу — J. Show). Рассмотрим с точки зрения указанных определений выделенные выше категории задач оператора.

*Первая категория задач, разрешаемых посредством автоматизмов* и не требующих специальных мыслительных действий, отвечает первому определению. *Вторая категория* задач оператора, для решения которых он должен объединять по заданным правилам полученную информацию и на основе этих данных выбирать самый оптимальный способ действий, отвечает уже и первому, и второму определению. Решение задач данной категории возможно только посредством процесса мышления, поэтому их можно назвать *мыслительными задачами. Третья категория* задач оператора, в которых неизвестен ни способ их разрешения, ни метод его поиска, уже соответствует всем трем данным выше определениям. Для разрешения подобных задач оператор должен не просто репродуктивно мыслить по заданным правилам, но здесь уже требуется соответствующая исследовательская активность и изыскание новых данных, позволяющих находить путь к решению задачи, т. е. требуется продуктивное мышление. Подобные сложные мыслительные задачи можно определить как *проблемные ситуации.* Отметим при этом, что чем неопределеннее будет искомый способ разрешения такой задачи относительно известных оператору способов, тем более проблемной будет для него задача.

Таким образом, используя указанную терминологию, *можно выделить категорию задач, на которые оператор отвечает автоматизированными действиями, и две категории задач, разрешаемых в процессе мышления.* Остановимся на задачах, которые решаются в процессе мышления, и путях их разрешения.

В психологии принято выделять три основных *вида мышления:* наглядно-действенное, наглядно-образное и

[23] Балл Г. А. О психологическом содержании понятия «задача». — «Вопросы психологии», 1970, № 6, с. 75—85.

отвлеченное. Все эти виды мышления в той или иной мере присущи операторской деятельности и проявляются в зависимости от особенностей возникающих задач.

**Наглядно-действенное мышление** используется оператором для решения мыслительных задач и проблемных ситуаций. Здесь применяется так называемый метод «проб и ошибок», где *акты мышления опираются на непосредственно воспринимаемые объекты и чередуются с практическими действиями по проверке результатов мышления* на отдельных его этапах. К данному виду мышления оператор прибегает, например, при отказе техники, причины которого не полностью ясны и нет правил действия в подобных случаях. При этом процесс мышления может быть направлен не только на непосредственное решение задачи, но и на получение, посредством практических проб, дополнительной информации, способствующей нахождению решения. Подобным образом оператор мыслит и тогда, когда ощущается значительный недостаток информации, чтобы в процессе практических проб получить недостающую информацию и свести проблемную ситуацию к обычной мыслительной задаче.

**Наглядно-образное мышление** является наиболее типичным для операторской деятельности. Оно основано на актуализации в сознании оператора соответствующих образов, отражающих сложившуюся ситуацию, и последовательных их преобразованиях к образам искомого решения. При таком мышлении используются как перцептивные образы, возникающие непосредственно за счет отражения реального объекта, так и образы, порождаемые предвидением промежуточных результатов и конечной цели. В процессе наглядно-образного мышления используются преобразования положения образа в пространстве, изменения взаимного положения элементов образа или его структуры и т. п. При таком мышлении *поиск решения задачи осуществляется* фактически *за счет мысленного проецирования образа на такие плоскости или за счет такой перегруппировки его составляющих, в результате которых складывается образ, из которого достаточно очевидно усматривается искомое решение.* Наглядно-образное мышление используется оператором при разрешении как мыслительных задач, так и проблемных ситуаций. Подобный вид мышления особенно характерен для диспетчеров, осуществляющих руководство воздушным или железнодорожным движением, для операторов, управляющих технологическим процессом, занимающихся обнаружением целей, летчиков и многих других операторских специальностей.

**Отвлеченное мышление** используется операторами главным образом для выполнения отдельных подготовительных, промежуточных или заключительных *расчетов.* Такое мышление основано на использовании абстрактных понятий и направлено на установление таких связей между ними, в которых раскрываются искомые закономерности или свойства явлений. К подобному виду

мышления оператор прибегает для решения задач по известным ему правилам (например, для расчета параметров технологического процесса, параметров навигации и пр.).

Хотя операторской деятельности и присущи обычные «классические» виды мышления, однако ее отличает и целый ряд специфических особенностей, которые послужили поводом для выделения мышления оператора в отдельную разновидность, получившую наименование **оперативного мышления.** Слово «оперативное» в данном контексте несет несколько смысловых нагрузок:

— оно показывает, что такое мышление непосредственно связано с трудовой деятельностью (от лат. opera — труд);

— оно может свидетельстьовать о том, что имеется в виду именно мышление оператора;

— его можно трактовать как мышление, связанное с выполнением отдельных трудовых операций;

— это понятие указывает, что здесь мышление осуществляется оперативно (в смысле быстрой перестройки по ходу деятельности). Можно выделить ряд особенностей, присущих оперативному мышлению:

а) оперативное мышление, в отличие от других видов мышления, осуществляется на основе информационной модели;

б) оно направлено на решение конкретных практических задач, поэтому его результаты могут непосредственно проверяться на практике, а его процесс корректироваться по ходу деятельности;

в) оперативное мышление осуществляется обычно в условиях жестких ограничений по времени, по точности, при высокой цене ошибки, иногда в необычных условиях жизнедеятельности;

г) при оперативном мышлении оказываются ценными только лучшие конкретные и положительные решения, в то время как в других видах мышления могут быть полезны и отрицательные, и абстрактные решения.

В. Н. Пушкин, один из основоположников изучения оперативного мышления, так определил его сущность: «Если прежде, чем отреагировать на ту или иную программную ситуацию, оператору необходимо отразить, мысленно воссоздать, представить элементы, из которых складывается эта ситуация, а затем привести в движение отражения, образы этих элементов и на основе такого перемещения увидеть план будущего действия или совокупности действий, то здесь имеет место оперативное мышление»[24]. Таким образом, автор понимает *оперативное мышление* как *процесс отражения в сознании динамических свойств и связей элементов управляемого объекта и выбора, на основе такой динамической модели, последовательности действий по разрешению задачи.*

---

[24] Пушкин В. Н. Оперативное мышление в больших системах. М.—Л., 1965, с. 26.

Как показали исследования, оперативное мышление осуществляется на основе знания функциональных зависимостей, существующих между параметрами управляемого объекта, знания влияния на эти процессы различных управляющих воздействий и прогнозов развития процесса. Исходя из этих знаний, на основе законов логики оператор делает соответствующие умозаключения о путях и возможностях получения искомого решения. Логические преобразования в задаче могут идти различными путями:

— преобразование проблемной ситуации к более простой задаче посредством рекомбинации ее составляющих;

— разбиение данной сложной задачи на более простые;

— выделение наиболее существенных признаков задачи и поиск связей только между ними;

— применение к данной задаче методов решения аналогичных задач.

Следует отметить, что изучение процесса оперативного мышления нельзя сводить только к одному логическому анализу, поскольку логика не раскрывает природу самого этого процесса (которую как раз и призвана изучать психология). Однако изучение логических связей, существующих между элементами задачи, помогает определить то общее направление, по которому идет оперативное мышление. Поэтому в процессе подготовки операторов специально обучают наиболее целесообразным с точки зрения логики путям разрешения различных типовых задач управления, и такие методы они обычно используют позднее в своей практической деятельности. Следовательно, при анализе оперативного мышления приходится прежде всего исходить из тех логических методов, которые используют операторы, и в связи с ними изучать уже природу самого процесса мышления.

В результате обучения операторов стандартным способам разрешения типовых задач управления у них формируются соответствующие навыки мышления, что способствует обычно более легкому и быстрому разрешению этих задач. Однако наличие подобных навыков может быть и чревато опасностью. Выше отмечалось, что задача на информационной модели обнаруживается оператором по отдельным показательным признакам сигналов. И если оператор без достаточного анализа этих сигналов и необходимой их интерпретации отнесет по ошибке данную задачу к категории типовых задач, которые решаются обычно на основе автоматизмов мышления, то это может привести к опасным последствиям. Поэтому *стереотипность мышления* в общем случае следует расценивать как нежелательное явление. Подобная стереотипность оказывается особенно опасной в аварийных ситуациях, где необходимость срочных действий часто препятствует полноте оценки обстановки и провоцирует срабатывание сложившихся автоматизмов.

Практика показывает, что опытные операторы в аварийных ситуациях в общем случае действуют обычно медленнее, чем не-

опытные. Первые на аварийную ситуацию отвечают *актом мышления* — максимально возможного за имеющееся время сенсорного синтеза и анализа данных о ситуации, вторые же — быстрыми *стереотипными действиями,* зачастую неадекватными задаче. Сложность аварийной ситуации в условиях жестких временных ограничений возникает главным образом не потому, что недостает времени на процесс мышления, а потому, что *не остается времени на исправление допущенных при этом ошибок.* Таким образом, отработка навыков действий в аварийных случаях оказывается целесообразной только тогда, когда на данную аварию, независимо от условий ее возникновения, требуется отвечать однозначно, определенным комплексом действий. Отработкой гибкого навыка можно добиться такого положения, когда при его реализации за счет варьирования несущественными переменными будут учитываться особенности данной конкретной аварийной ситуации.

Анализируя процесс оперативного мышления диспетчера энергосистемы, В. Н. Пушкин выявил некоторую общую закономерность стратегии поиска решения. На первом этапе оператор стремится оценить отдельные элементы, параметры задачи и связь между ними. На втором этапе осуществляется группировка этих элементов и параметров таким образом, чтобы в исходной ситуации обнаружить некоторые искомые элементы задачи. И на третьем, заключительном этапе мышления осуществляется выработка общих принципов и правил решения данной задачи, обеспечивающих объединение одних элементов, из которых формируется алгоритм решения, и отсев всех прочих.

Д. А. Ошанин [25] подходит к изучению оперативного мышления с позиции анализа образов, с которыми действует оператор. Исходя из большого числа экспериментальных исследований, он доказывает, что в процессе предметной деятельности операторы формируют соответствующие образы, специально приспособленные для данной группы действий и подчиненные задаче, — оперативные образы. Автор показывает, что эти образы выполняют роль своеобразных фильтров, благодаря которым отбирается, актуализируется и целесообразно организуется в концептуальной модели полезная для задачи информации. Поэтому оперативные образы он расценивает как регуляторы действия и как инструмент мышления.

Некоторые особенности мышления оператора вытекают из работы А. А. Крылова [26], показавшего, что человек в подобных условиях действует не как одноканальный приемник информации, а как гибкая система, способная к перестройкам информационных процессов и к включению в них дополнительно или

---

[25] Ошанин Д. А. Предметное действие и оперативный образ. Автореф. дис. на соискание уч. степ. докт. психол. наук. М., 1973. 32 с.

[26] Крылов А. А. Человек в автоматизированных системах управления. Л., 1972. 190 с.

вновь поступающнх сведений. Вопросы продуктивиого мышления оператора по разрешению проблемиых снтуаций, его взаимодействия с ЭВМ, а также вопросы влияння различных эмоций, порождаемых деятельностью, иа процесс мышлеиня разносторонне изучаются в работах О. К. Тихомирова [27].

* * *

Этнм завершается глава, нзлагающая информацноиные характернстнкн деятельности оператора, а также закаичнвается серня глав, в которых опнсывалнсь общне закономерности деятельиостн человека в сложной системе управлення. Перейдем к изученню ряда отдельных частных показателей, отражающнх результаты управляющей деятельиостн оператора н представляющнх особый ннтерес для ииженерной психологии: характернстнк временн (быстродействня), точностн н надежиостн. Нnже будут рассмотрены ие только указаиные характеристики оператора н нх пснхологнческая природа, ио н влияние этнх характеристнк иа временные, точностные и иадежиостные показателн всей снстемы.

[27] Тихомиров О. К. Структура мыслительиой деятельиости человека. М., 1969. 304 с.

# Раздел II. ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ОПЕРАТОРА И СИСТЕМЫ

## Глава IV. Временные характеристики действия оператора и системы

### IV.1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ

#### IV.1.1. ВРЕМЯ РЕАГИРОВАНИЯ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА

Одной из наиболее показательных и легко измеримых характеристик, отражающих психическую деятельность человека, является время его реагирования на внешний стимул. Между такими стимулами, выступающими в качестве раздражителей, и ответными реакциями организма на них устанавливаются хотя и разнообразные, но вполне объективные отношения. Формой выражения этих отношений служит интервал времени между моментом предъявления стимула и моментом ответа на него, отражающий скорость протекания психофизиологических процессов, которые порождаются в организме этим стимулом. Данный интервал выражает указанные процессы через объективную категорию времени, поэтому он стал одним из основных количественных показателей, используемых в психологических исследованиях, и особенно в инженерной психологии.

Любая задача, с которой сталкивается человек при взаимодействии с окружающим его миром, оказывается заданной во времени. В трудовой деятельности показатель времени выступает в качестве главного критерия производительности и эффективности. Особое значение он приобретает в деятельности человека-оператора.

Каждая система «человек—машина» создается для разрешения определенного круга задач и выполнения ряда конкретных функций. Однако эти функции могут быть успешно выполнены только в том случае, если действие системы и ее выходные характеристики, практически реализующие эти функции, будут отвечать техническим требованиям, налагаемым на систему, и укладываться в пределах задаваемых ими ограничений.

Ограничения, наложенные на систему, налагают, в свою очередь, соответствующие ограничения на работу ее отдельных компонентов, в том числе и на человека. Поэтому, чтобы система выполняла возложенные на нее функции, выходные показатели деятельности человека должны также укладываться в пределах соответствующих норм. Как уже отмечалось, оператор в системе управления обычно располагает возможностями выбора способа управляющих действий. Однако указанный выбор должен осуществляться с непременным соблюдением ограничений, налагаемых на действия человека. Следует отметить, что все эти *ограничения* в принципе *можно свести к двум категориям:* его действия должны укладываться в технические нормы по *своевременности* и *точности.*

Таким образом, фактор времени в деятельности человека-оператора выступает как один из основных критериев, определяющих ее успешность. Несоблюдение этого критерия расценивается как недостижение цели со всеми вытекающими отсюда последствиями.

*Время реагирования* является количественным *показателем* максимальной скорости, с которой протекают у данного человека нервные процессы при разрешении рассматриваемой задачи, т. е. оно определяет, *«что может»* данный человек. Вместе с тем, поскольку скорость реагирования зависит от физического и психического состояния человека, то она может служить также и показателем этих состояний.

Знание оператором задачи и понимание той ответственности, которую она на него налагает, естественно, отражается на его психическом состоянии и скоростных возможностях. Поэтому время реакции на данный сигнал является в некоторой мере и показателем отношения оператора к этому сигналу, его связи с потребностями — с тем, *«что хочет»* человек *и в какой мере он к этому стремится.* Следовательно, время реагирования одновременно характеризует как психофизиологические возможности и состояние человека, так и его отношение к задаче и личностные особенности.

Временны́е характеристики в инженерной психологии имеют следующее применение:

— являются показателем степени временны́х ограничений, налагаемых на деятельность человека в системе управления, показателем его возможностей укладываться в эти ограничения, т. е. в какой-то мере служат *критерием вероятности достижения цели;*

— служат лабораторным показателем скорости протекания нервных процессов в организме человека в условиях рассматриваемой деятельности, отражают некоторые *психические особенности этой деятельности;*

— позволяют судить о физическом состоянии оператора, уровне его загруженности, степени утомления и т. п., могут слу-

жить индикатором его *психического состояния* (уровня напряженности выполняемой деятельности, уровня бдительности оператора и пр.), а также характеризовать мотивационный аспект деятельности (значимость задачи, интерес к ней);

— характеристики времени реагирования дают возможность судить и о *ходе процесса обучения,* тренировки, об уровне навыков;

— в некоторой мере временные характеристики могут служить критерием согласованности технических устройств, используемых оператором, с психофизиологическими особенностями его деятельности, т. е. *критерием оценки инженерно-психологического соответствия техники.*

Все эти разносторонние возможности использования временных характеристик для разрешения различных теоретических и прикладных проблем обусловили их широкое применение не только в инженерной психологии, но и в других отраслях психологической науки.

## IV.1.2. ВРЕМЯ РЕАКЦИИ ОПЕРАТОРА

Наиболее элементарной разновидностью реакции оператора является простая *сенсомоторная*[1] *реакция:* человек с максимальной скоростью выполняет заданное ему движение (нажимает на кнопку, перемещает рычаг и т. п.) в ответ на заранее известный, но внезапно появляющийся сигнал. Время задержки с ответом складывается в этом случае из скрытого — латентного периода (от момента появления сигнала до начала ответного движения) и времени моторного периода (длительности ответного действия), куда, строго говоря, входит и время прохождения команды на моторный ответ по нервным путям (из центральной нервной системы к мышцам). Такие реакции принято называть реакциями *типа А.*

Подобным образом оператор реагирует на аварийный сигнал в тех случаях, когда такой сигнал требует срочной и однозначной реакции. Однако чаще всего прежде, чем ответить на аварийный сигнал, оператору необходимо убедиться, что сложилась именно та ситуация, при которой следует реагировать срочно и однозначно. В этом случае психический акт уже оказывается более сложным, чем при простой сенсомоторной реакции.

В практической деятельности оператора, кроме преднамеренных сенсомоторных реакций на внешний раздражитель, по подобному типу могут иногда проявляться и быстрые непроизвольные реакции на представление об этом раздражителе — *идеомоторные реакции.* Так, например, в результате длительного ожидания сигнала у оператора может возникнуть представление, что сигнал

[1] Сенсомоторный — от лат. sensorium орган чувств и лат. motor приводящий в движение.

появился, на которое он ответит двигательной реакцией. Или же инструктор, наблюдая за работой обучающегося оператора и представляя ее дальнейшую последовательность, может непроизвольно быстро отреагировать на представление и неожиданно вмешаться в работу оператора. Подобные идеомоторные реакции иногда приводят к нарушению работы системы и создают аварийные ситуации.

Другим типом сенсомоторной реакции является реакция *типа В,* в которой осуществляется предельно быстрое различение поступившего сигнала среди ряда возможных и выбор из имеющихся способов ответных действий такого, который соответствует этому сигналу. С подобными реакциями в «чистом виде» оператору приходится встречаться довольно редко. По типу В оператору чаще приходится реагировать тогда, когда имеется один источник информации, передающий различные сообщения, на которые надо реагировать различными перемещениями одного органа управления.

Третий тип сенсомоторной реакции — *тип С* — возникает в тех случаях, когда испытуемому предъявляют два или несколько сигналов и ему следует реагировать на какой-либо из них, оставляя без внимания остальные. В операторской деятельности чаще встречается обратная задача, когда на один сигнал на индикаторе (соответствующий норме) реагировать не следует, а на другие сигналы (указывающие на различные нарушения) требуется быстрая ответная реакция.

Классификацию сенсомоторных реакций на три вышеуказанных типа дал еще в прошлом столетии голландский физиолог Франс Дондерс (F. Donders), фактически заложивший основы инженерно-психологических исследований в этой области. По терминологии школы И. П. Павлова, реакции типа В и С являются *дифференцировочными,* так как в первой (В) оператор дифференцирует несколько положительных раздражителей, а во второй (С) — положительный раздражитель среди нескольких отрицательных (тормозных). Последние два типа реакций иногда называют реакциями выбора (дизъюнктивными).

Из проведенного рассмотрения можно сделать заключение, что в чистом виде классические типы сенсомоторных реакций в практической деятельности оператора встречаются довольно редко. Это объясняется рядом причин.

Во-первых, здесь отсутствует однозначная связь между стимулом и реакцией, поскольку на один и тот же сигнал в разных ситуациях оператор обычно отвечает различными действиями. Во-вторых, в большинстве задач, прежде чем реагировать на сигнал, оператору приходится оценивать текущую ситуацию, на фоне которой возник данный сигнал, что уже нарушает классическую схему сенсомоторной реакции. В-третьих, в абсолютном большинстве задач, возникающих у оператора, не требуется отвечать на сигнал с максимальной скоростью. Один из известных

специалистов в области летных испытаний заслуженный летчик-испытатель А. А. Щербаков заметил, что *большая часть летных происшествий произошла не потому, что летчик опоздал с ответным действием, а потому, что он поторопился.*

С развитием инженерной психологии приобрел актуальность новый тип реакции — реакция на движущийся объект (РДО), которую выделил еще в 1934 г. советский физиолог Н. В. Зимкин. Сущность такой реакции заключается в следующем. Испытуемый наблюдает за экраном, на котором движется некоторый объект (его отметка). Здесь сигналом для моторного ответа является момент достижения объектом некоторой заданной точки на экране. Подобные реакции характерны для операторов, выполняющих задачи обнаружения объектов на экране радиолокатора и их сопровождения, например, при помощи прицельной станции.

## IV.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА

Для того чтобы отреагировать на сигнальный раздражитель, оператор должен прежде всего его воспринять. Органы чувств человека, как известно, воспринимают только те раздражители, которые лежат в пределах диапазона, ограниченного их чувствительностью; они способны дифференцировать сигналы лишь тогда, когда различие между ними достигает определенного уровня. Все эти данные о возможностях и особенностях восприятия оператором различных сигналов представляют большой интерес для инженерной психологии как с точки зрения выбора формы и алфавита сигналов при проектировании информационных моделей, так и с позиции анализа деятельности оператора.

Изучением связи между физическими характеристиками раздражителя и порождаемыми ими субъективными реакциями — психическими процессами ощущения, а также измерением этих связей занимается специальная область психологии — психофизика. Остановимся на некоторых основных ее положениях, имеющих прикладное значение в инженерной психологии [2].

В основу классической психофизики было положено понятие о пороге ощущения. Это понятие впервые использовал еще в XVII в. немецкий философ и математик Г. В. Лейбниц. В настоящее время под порогом понимают *некую границу в ряду раздражителей, отделяющую сигналы, которые вызывают один ответ, от сигналов, вызывающих другой ответ или вообще не вызывающих ответа.*

---

[2] Бардин К. В. Проблема порогов чувствительности и психофизические методы. М., 1976. 394 с.; Забродин Ю. М. Обнаружение и опознание человеком сложных акустических сигналов. — В кн.: Проблемы психофизики. М., 1976, с. 218—252.

В процессе чувственного познания сигнала можно выделить четыре этапа:

— процесс раздражения (физический),

— процесс возбуждения (физиологический),

— процесс субъективного ощущения стимула (психологический),

— процесс выведения суждения о стимуле (логический).

Обнаружение стимула осуществляется в результате преобразования процесса возбуждения в процесс ощущения и его осознания. Для того чтобы стимул вызвал процесс его ощущения, он должен создать такой уровень физического раздражения рецептора, при котором физиологическое возбуждение анализатора[3] превысит его внутренние — биологические шумы. *Минимальную интенсивность физического раздражителя, при достижении и превышении которой появляется его ощущение, называют* нижним, или абсолютным, порогом *этого раздражителя.*

Если интенсивность раздражителя, превысив абсолютный порог, будет продолжать увеличиваться, то после достижения ею какого-то предельного значения адекватное ощущение стимула станет уже невозможным. *Максимальную интенсивность раздражителя, которую еще возможно адекватно ощущать и сверх которой такое ощущение становится невозможным, называют* верхним порогом *ощущения.*

По нижнему порогу ощущения судят об абсолютной чувствительности анализатора относительно данного раздражителя. Количественно чувствительность ($E_0$) анализатора по отношению к данному раздражителю принято выражать как величину, обратную интенсивности абсолютного порога ($J_0$) этого раздражителя:

$$E_0 = \frac{1}{J_0}. \qquad (4.1)$$

Кроме нижнего и верхнего порога, в психофизике используется понятие дифференциального порога ($\Delta J$) ощущения; он определяется *минимальным различием интенсивности двух раздражителей, которое возможно распознать по разнице в ощущениях.*

Непосредственной основой развития психофизики явились работы немецкого психофизика Э. Г. Вебера, который, изучая связь между интенсивностью физического раздражителя (света, звука, давления на кожу груза) и его ощущением, в 30-х годах прошлого века обнаружил, что *ощущения у человека увеличиваются пропорционально не абсолютному приросту интенсивности*

---

[3] Анализатор — более широкое понятие, чем «орган чувств». В анализатор входят как периферические рецепторы, так и весь проводящий путь нервных сигналов, включая и ту область коры головного мозга, куда они поступают.

*раздражителя, а его относительному приросту.* На основе этих наблюдений Э. Г. Вебер вывел следующий закон, названный его именем:

$$\frac{\Delta J}{J} = \text{Const}, \quad (4.2)$$

где J — интенсивность исходного раздражителя,
ΔJ — минимально различимое приращение интенсивности раздражителя (дифференциальный порог различения).

Действие этого закона можно проиллюстрировать следующим простым примером из практики. Если световой раздражитель имеет исходную интенсивность $J_0 = 100$ свечей, то, чтобы ощутить прирост интенсивности света, нужно увеличить ее минимум на $\Delta J = 1$ свечу. Если же исходная интенсивность составляет $J_0' = 1000$ свечей, то, чтобы ощутить прирост интенсивности сигнала, ее надо увеличить минимум на $\Delta J' = 10$ свечей. Таким образом, для световых сигналов отношение $\frac{\Delta J}{J} = 0{,}01$; для звуковых раздражителей оно оказалось равным 0,1. Справедливость этого закона подтверждается главным образом при средних интенсивностях раздражителей.

Физик и философ XIX в. Г. Т. Фехнер на основе работ своего соотечественника Э. Г. Вебера попытался создать новую экспериментальную науку, которую он назвал психофизикой. Идеалистические воззрения, из которых исходил Г. Т. Фехнер (его погоня за «чистыми ощущениями», подход к физическому и психическому как к независимым друг от друга процессам), помешали ему разработать научно обоснованную платформу для этой области знания. Однако стремление Г. Т. Фехнера сделать психологию точной наукой оказалось небезуспешным — в основу современной психофизики положен ряд доказанных им фундаментальных положений.

Исходя из закона Э. Г. Вебера, Г. Т. Фехнер, выражая приращения интенсивности раздражителя и приращения ощущения в дифференциалах, вывел следующую зависимость:

$$dE = k\frac{dJ}{J_0},$$

означавшую, что минимальное приращение ощущения (dE) над абсолютным порогом ($J_0$) пропорционально (k — коэффициент пропорциональности) относительному приращению интенсивности раздражителя $\left(\frac{dJ}{J_0}\right)$. Интегрируя это уравнение, он получил формулу, связывающую величину ощущения (E) с интенсивностью раздражителя (J):

$$E = k(\ln J - C).$$

Для исключения из формулы постоянной интегрирования С Фехнер допустил, что при величине раздражителя, равной абсолютному порогу (т. е. при $J = J_0$), ощущение $E = 0$. В таком случае из последней формулы следует, что $C = \ln J_0$.

Подставляя в нее полученное значение С, он пришел к формуле:

$$E = k(\ln J - \ln J_0). \quad (4.3)$$

Установленная зависимость (4.3) получила наименование *основного психофизического закона Вебера—Фехнера.* Из этого закона непосредственно следует, что *с увеличением интенсивности раздражителя величина его ощущения растет* значительно медленнее, чем сам раздражитель — *по логарифмическому закону* (если интенсивность раздражителя возрастает в 100, в 1000 раз, то величина ощущения по закону натурального логарифма увеличивается соответственно в ~4,6, в ~6,9 раза).

Закон Вебера—Фехнера оказался справедливым только при средних значениях интенсивностей раздражителей: с уменьшением сигнала до пороговых значений он сильно искажался. Недостаток этого закона заключается и в том, что он не учитывает влияние состояния организма на его чувствительность: не учитывает, что раздражитель действует не на «пустой» мозг, а на мозг, охваченный определенным процессом возбуждения, что порог раздражителя обусловлен и порогом его осознания.

Однако, несмотря на отмеченные недостатки, формула Вебера—Фехнера в течение многих лет считалась вполне удовлетворительным описанием психофизических закономерностей восприятия. И только в 50-х гг. нашего столетия, с разработкой более прямых и точных методов измерения ощущений, С. Стивенсом (S. Stevens) были получены экспериментальные данные, указывающие на то, что *связь между интенсивностью стимула и величиной его ощущения правильнее описывать* не логарифмической, а степенной зависимостью следующего вида:

$$E = k(J - J_0)^n, \quad (4.4)$$

где k — константа,
n — показатель, который определяется экспериментально, обусловлен модальностью раздражителя и изменяется в пределах от 0,2 до 3,5.

Согласно формуле (4.4), а также формуле (4.3), при интенсивности раздражителя, равной значению абсолютного порога, ощущение падает до нуля. Основное же отличие формулы С. Стивенса от формулы Вебера—Фехнера заключается в том, что последняя предполагает существование у отдельных раздражителей (для которых $n = 1$) линейной связи между увеличением интенсивности сигнала и уровнем его ощущения, а для целого

ряда раздражителей (для которых $n>1$) — возможность значительно более быстрого роста ощущения, по сравнению с ростом интенсивности раздражителя.

Так, если при восприятии яркости, громкости, запахов значение $n$ колеблется в пределах 0,2—0,6, а рост величины ощущений, как в законе Вебера—Фехнера, отстает от роста интенсивности соответствующих раздражителей, то при восприятии отдельных раздражителей, например сигналов электрического тока, когда $n = 3{,}5$, рост ощущений в несколько раз опережает рост интенсивности воздействующего сигнала. Рост ощущений опережает рост раздражителя и при зрительном восприятии скорости движения, скорости мелькания (здесь $n = 1{,}77—2{,}00$). На основе указанных различий восприятия сигналов разной модальности можно заключить, какие модальности целесообразнее использовать для быстрой передачи сообщения об изменениях существенных параметров системы. Очевидно, сообщения о параметрах, нарушение которых оператору необходимо быстро обнаруживать, выгоднее передавать сигналами тех модальностей, которым присущи бо́льшие значения показателя $n$.

Большой интерес для инженерной психологии представляет выявление таких интенсивностей раздражителей, при которых создаются наилучшие условия для распознавания сигналов. Исходя из этих соображений, М. А. Дмитриева, Б. Ф. Ломов и В. И. Медведев [4] ввели понятие оперативного порога различения. Изучая восприятие различий между двумя сигналами, авторы установили, что до тех пор, пока различие было невелико, восприятие его оказывалось затрудненным, в связи с чем, естест-

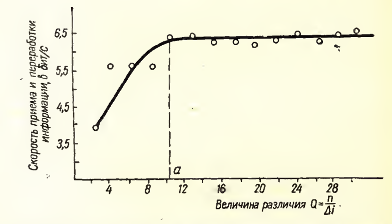



Рис. 4.1. Зависимость скорости переработки информации от рассогласования между стимулами (по М. А. Дмитриевой).

[4] Ломов Б. Ф. Человек и техника. М., 1966, с. 121—122.

венио, снижались скорость и точность его распознавания. По мере увеличения различия эти показатели улучшались, однако лишь до определенного предела. При некотором уровне различия скорость и точность его восприятия оказывались наиболее высокими и превышение его уже не улучшало этих показателей. *То минимальное различие в сигналах, превышение которого уже не улучшает показателей его восприятия, получило название* оперативного порога различения.

На рис. 4.1. представлена полученная М. А. Дмитриевой кривая, которая показывает зависимость скорости восприятия зрительных сигналов от величины относительного различия между ними (Q). Это различие определялось отношением $Q = \frac{n}{\Delta i}$,

где n — заданный интервал различия признака,

$\Delta i$ — различие, соответствующее дифференциальному порогу.

Согласно указанной кривой, скорость восприятия различия между сигналами возрастает только до определенного уровня различия (точка *а*) и при дальнейшем его увеличении остается уже на неизменном максимальном уровне. Значения оперативных порогов, как показывает опыт, примерно в 10 раз выше значения абсолютных порогов различения. Оперативные пороги особенно важны для инженерной психологии, ибо они определяют не просто границы восприятия сигналов, а условия их наилучшего восприятия, т. е. те показатели, на достижение которых ориентирована инженерная психология.

Кроме названных характеристик, в инженерной психологии находят применение показатели пространственного порога, обусловленные минимальными размерами раздражителя, площадью рецептора, на который он воздействует, и их взаимным расположением, а также показатели временно́го порога — минимальной длительности воздействия, необходимой для возникновения ощущения.

Пороговые характеристики обнаружения сигналов оказываются довольно индивидуальными и зависят от психофизиологических и профессиональных особенностей человека, от присущей ему сенсорно-перцептивной организации, от его общей предрасположенности к восприятию данного раздражителя, от степени его уверенности (осторожности) при выводе суждения о появлении ощущения и пр. На характеристики порогов сильно влияет физическое и психическое состояние человека и, в частности, степень его утомления.

При оценке пороговых показателей нельзя не учитывать и *способность анализаторов* к адаптации, т. е. к самонастройке, *к приспособлению их функций к условиям воздействия и среды.* Благодаря такой способности анализаторы повышают свою чувствительность к восприятию сигналов малой интенсивности (близких к абсолютным порогам) и, наоборот, понижают чувст-

вительность при восприятии сигналов, приближающихся к верхнему порогу. Процесс этот совершается рефлекторно — без сознательного контроля, по принципу саморегуляции с отрицательной обратной связью.

Адаптация, кроме повышения чувствительности, способствует и более высокой избирательности органов чувств. Она обеспечивает настройку анализатора на такую «полосу пропускания» сигнала, которая является оптимальной в данных условиях по отношению к избранному полезному сигналу. При этом происходит понижение чувствительности к сигналам, не вошедшим в эту «полосу», т. е. как бы отстройка от посторонних раздражителей, выступающих в данном случае в виде внешних помех. Как показали эксперименты, благодаря самонастройке анализаторов, организм приобретает повышенную чувствительность к сигналам, имеющим высокую значимость для человека, что способствует их более полному и тонкому восприятию.

Указанные особенности чувствительности приходится учитывать при анализе и организации деятельности человека-оператора. Поскольку эта деятельность подчинена разрешаемой задаче, то и чувствительность оператора к отдельным сигналам будет зависеть от их роли в этой задаче. Если по условиям задачи необходимо тонко дифференцировать и точно выдерживать отдельные показатели работы системы, то уже сам этот факт определит повышение чувствительности оператора к обнаружению и дифференцированию таких сигналов. Поэтому чувствительность оператора к распознаванию одних и тех же сигналов может варьироваться в значительных пределах. Отсюда можно заключить, что, вероятно, *правильнее говорить не о чувствительности отдельного анализатора, а о чувствительности всего организма человека к данному сигналу, с учетом особенностей его личности и роли этого сигнала в его деятельности.*

Кроме указанных внутренних условий, на уровни порогов влияют также внешние условия, в которых осуществляется предъявление сигналов: их общее число (алфавит), последовательность предъявления, количество передаваемой ими информации, их пространственно-временная и вероятностная структура, уровень помех и пр. Под воздействием каждого из этих внешних факторов пороговые показатели восприятия одного и того же раздражителя могут также сильно изменяться.

Таким образом, под влиянием и внутренних, и внешних факторов сенсорные пороги варьируют в значительных пределах, поэтому *чувствительность человека* по отношению к данному раздражителю приходится *оценивать применительно только к данным конкретным условиям* опыта.

Указанный недостаток порогового подхода к оценкам уровней ощущений был замечен еще современниками Г. Т. Фехнера, которые, в противоположность его *дискретному, «квантовому» подходу* к оценке ощущений, выдвинули *концепцию непрерывно-*

*сти сенсорного ряда.* Эта концепция исходила из предположения о том, что за счет изменения внешних и внутренних несенсорных условий восприятия данного раздражителя можно варьировать чувствительность к раздражителям данной интенсивности, т. е. порог ощущений может непрерывно изменяться посредством изменения условий предъявления раздражителя.

Таким образом, концепция непрерывного ряда в принципе отрицала существование порогов. Если сторонники пороговой концепции всеми силами стремились устранить несенсорные факторы, выступавшие в роли внешних и внутренних помех, искажающих истинные значения порогов, то сторонники второй концепции, напротив, старались использовать их для доказательства непрерывности ряда раздражителей различных интенсивностей, обнаруживаемых человеком.

В настоящее время в психологии используется и та и другая концепция. Однако бо́льшим признанием все же пользуется пороговая концепция Г. Т. Фехнера. Ее значение особенно велико в прикладных областях психологии, где требуются количественные оценки деятельности человека, где представляется возможность как-то ограничивать круг внешних и внутренних условий, при которых оценивается порог. Более успешному применению пороговой концепции в значительной мере способствует использование математической *теории принятия решения.* Посредством этой теории, как было показано в гл. III, может быть учтено влияние на величину порога некоторых внешних и внутренних условий деятельности: задачи и вытекающей из нее стратегии поведения оператора, вероятности ложных обнаружений и пр. При этом открываются возможности количественной оценки роли отдельных несенсорных факторов при определении порогового значения раздражителя.

Разнообразное использование пороговые характеристики находят и в инженерной психологии. По ним определяют способность оператора обнаруживать различные уровни нарушений в работе системы, точность, с которой он может выдерживать ее регулируемые параметры. Пороговые показатели здесь можно оценивать применительно к решению конкретных практических задач в определенных условиях деятельности. Следует отметить, что для инженерно-психологических исследований представляют интерес не столько осредненные значения тех или иных порогов восприятия, сколько *диапазоны* их изменения для рассматриваемой совокупности операторов.

## IV.3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВРЕМЯ РЕАКЦИИ ОПЕРАТОРА

### IV.3.1. ВРЕМЯ РЕАКЦИИ НА ОТДЕЛЬНЫЕ СИГНАЛЫ

При рассмотрении характеристик чувствительности речь шла о предельно возможных ощущениях. Теперь продолжим их рассмотрение уже с точки зрения оценки времени, предельно необходимого для реагирования на эти ощущения. Экспериментально доказано, что латентный период простой сенсомоторной реакции зависит главным образом от *модальности раздражителя,* т. е. от того, на какой орган чувств он воздействует. В табл. 1 систематизированы результаты, полученные в различных исследованиях по измерению времени простой сенсомоторной реакции на различные раздражители средней интенсивности, указаны наименьшие и наибольшие значения средних величин, полученных разными авторами.

Таблица 1

| Анализатор (качество сигнала-раздражителя) | Латентный период (средняя величина), с |
|---|---|
| тактильный (прикосновение) | 0,09—0,22 |
| слуховой (звук) | 0,12—0,18 |
| зрительный (свет) | 0,15—0,22 |
| обонятельный (запах) | 0,31—0,39 |
| температурный (тепло—холод) | 0,28—1,60 |
| вестибулярный аппарат (вращение испытуемого) | 0,4 |
| болевой | 0,13—0,89 |

Различие между величинами латентных периодов времени реакции на сигналы разных модальностей Е. И. Бойко[5] объяснял влиянием ряда физиологических причин.

Во-первых, при раздражении разных рецепторов условия воздействия раздражителей на периферические нервные аппараты различны. Так, например, медленное проникновение температурного раздражителя через поверхность ткани к рецепторным окончаниям определяет большое время реакции на этот раздражитель. Напротив, звуковые раздражители, практически сразу воздействующие на рецепторные приборы, ощущаются быстрее и время реакции на них оказывается меньшим.

Во-вторых, время реакции на сигналы, поступающие к разным рецепторам, зависит от особенностей преобразования этих сигналов в физиологический нервный процесс и от возникающей при этом энергии. Известно, что от разных рецепторов центральная нервная система получает неодинаковое количество энергии.

---

[5] Бойко Е. И. Время реакции человека. М., 1964. 440 с.

В-третьих, анализаторы по-разному приспосабливаются к различным по интенсивности и длительности раздражителям, что также отражается на течении физиологического процесса, а следовательно, и на времени реакции.

Различия в латентных периодах времени реакции на сигналы разных модальностей объясняются также неодинаковыми механизмами нервной регуляции сенсомоторного акта отдельных анализаторов.

Для инженерной психологии наиболее важен тот факт, что *время реакции существенно зависит от модальности сигнала и может управляться посредством подбора модальностей.*

На основе многочисленных исследований времени реагирования на раздражители самой разнообразной природы было доказано, что для сигналов любой модальности время реакции зависит от *интенсивности* действующего раздражителя и что чем сильнее сигнал, тем короче латентная и моторная составляющие времени реакции (рис. 4.2).

Имеются данные, что за счет увеличения интенсивности сигнала время реакции на него может уменьшиться в 4 раза и более. Зависимость времени реакции (ВР) от интенсивности раздражителя, выраженной в относительных единицах, может апроксимироваться следующей формулой:

$$ВР = ВР_0 + \frac{a}{\lg \frac{J}{J_0}}, \qquad (4.5)$$

где $ВР_0$ — минимальное время реакции при достаточно большой интенсивности раздражителя,

$J/J_0$ — отношение данной интенсивности раздражителя к его пороговому значению,

$a$ — постоянная, зависящая от типа раздражителя, условий деятельности и состояния оператора.

По мнению Е. И. Бойко, уменьшение времени реакции с ростом интенсивности раздражителя является одним из проявлений действия физиологического закона силы, установленного И. П. Павловым. Этот закон гласит, что *чем больше энергии поступает от раздражителя в нервную систему, тем быстрее протекают процессы во всех ее звеньях и тем энергичнее конечный рефлекторный эффект.* Уровень возбудительного процесса, возникшего в нервной системе под воздействием раздражителя, оказывается зависимым от его физической интенсивности и физиологической «силы».

Следует отметить, что закон силы отчетливо проявляется только при равенстве всех прочих условий. Действие его может нарушаться с изменением физического и психического состояния человека, а также с адаптацией к данному раздражителю.

Экспериментально было доказано, что на время реакции влияют не столько сами абсолютные характеристики раздражи-

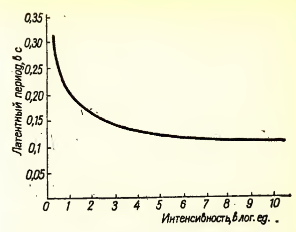



Рис. 4.2. Зависимость латентного периода простой сенсомоторной реакции от интенсивности акустического сигнала (по Шошолю).

теля (интенсивность, размер), сколько их отношение к окружающему фону. С увеличением контрастности раздражителя по отношению к фону время реакции на него сокращается.

Нарушение действия «закона силы» было обнаружено и в опытах А. Е. Ольшанниковой[6], которая установила, что в случае особой значимости для оператора слабого раздражителя (например, аварийный сигнал) время реакции на него может быть короче, чем на более сильный, но менее значимый сигнал.

Дополнительным подтверждением влияния фактора *значимости* на время реакции могут служить данные, полученные Г. М. Зараковским и В. И. Медведевым[7] о времени реагирования шоферов на равновероятную последовательность световых сигналов красного, синего и зеленого цвета (табл. 2).

Таблица 2

| Сигнал | Время реакции, с (после предъявления 600 сигналов) | Процент ошибок |
|---|---|---|
| Красный | 0,268 | 2 |
| Синий | 0,300 | 4 |
| Зеленый | 0,347 | 5 |

[6] Ольшанникова А. Е. Проявление закона силы в условиях, сопоставимых и несопоставимых с условиями работы оператора. — «Вопросы психологии», 1962, № 5, с. 31—44.

[7] Зараковский Г. М., Медведев В. И. Психофизиологический аспект исследования и оценки эффективности систем «человек—машина». [Препринт доклада на III Всесоюзном симпозиуме по надежности и эффективности комплексных систем «человек—техника»]. Л., 1971, с. 9.

Как видно из табл. 2, значимый для шофера красный сигнал — сигнал к немедленной остановке — связан с наименьшим временем реагирования; при реакции на него уменьшается также число допускаемых ошибок. Время реакции на зеленый сигнал, не требующий срочных действий, и число ошибок на этот сигнал оказываются более высокими. Все эти данные экспериментально подтверждают высказанное в гл. II положение о существенном влиянии фактора значимости на результаты действия, подтверждают справедливость описанной выше схемы саморегуляции (рис. 2.2).

На времени реакции заметно отражается и уровень предварительной готовности оператора к реагированию. Для операторской деятельности наиболее характерны два следующих варианта готовности: в одних случаях готовность к реагированию на данный сигнал создается по самокоманде в соответствии с принятым оператором планом действий, в других — по команде извне. Проведенное нами совместно с Т. И. Сиймом экспериментальное исследование показывает, что каждый вид готовности по-своему сказывается на скорости реагирования.

На лабораторной установке, имитировавшей пульт оператора, испытуемым (студентам) предъявлялись световые сигналы, которые нужно было вовремя гасить перемещением соответствующих рукояток. Сигналы белого цвета, которые требовалось гасить за 3 с, позволяли не торопиться с реакцией, сигналы же красного цвета нужно было гасить за 0,9 с, и это требовало очень быстрой ответной реакции.

В первой серии опытов испытуемым сообщалась очередность появления белых и красных сигналов, поэтому они могли планировать свою деятельность и перед каждым предъявлением красного сигнала создавать необходимую готовность к быстрому реагированию на него (такая готовность действительно обнаруживалась по записям физиологических показателей испытуемых: частоты пульса, кожно-гальванической реакции и дыхания).

Во второй же серии опытов последовательность предъявления сигналов была неизвестна испытуемым; им давалась инструкция ориентироваться на реагирование по белым сигналам, а перед предъявлением красных сигналов — на специальную предупредительную команду. В опытах, наряду с указанными физиологическими параметрами, фиксировались также латентная и моторная составляющие времени реакции. Таким образом, в опытах первой серии готовность к реагированию на красный сигнал создавалась по самокоманде (исходя из плана действий), в опытах же второй серии — по внешней команде экспериментатора. Некоторые сравнительные результаты двух серий данного исследования представлены в таблице 3.

Из приведенной таблицы следует, что *время реакции выбора при действии по внешней команде* (как латентная, так и моторная составляющая) *оказывается меньшим, чем время аналогич-*

Таблица 3

| Способ создания готовности к реагированию | Время реакции | | Частота пульса перед реагированием, уд/мин |
|---|---|---|---|
| | латентное, мс | моторное, мс | |
| Готовность по плану | 96,892 | 51,864 | 93,99 |
| Готовность по команде извне | 90,379 | 47,166 | 97,46 |

*ной реакции* на тот же красный сигнал *при действиях по плану* (статистическая достоверность различия $\beta=0{,}99$). Различие в частоте пульса испытуемых (его достоверность $\beta=0{,}95$) свидетельствует о том, что по команде создается более высокая активация перед реакцией, и это, очевидно, способствует сокращению времени реагирования.

На проявление эффекта, когда по команде извне человек действует лучше, чем по собственному плану, обращает внимание и А. Н. Леонтьев, замечая, «...что подняться в атаку легче по прямому приказу командира, чем по самокоманде»[8]. Объяснение этому следует, вероятно, искать в механизмах развития психики.

Л. С. Выготский высказал, а А. Р. Лурия[9], на основе целого ряда исследований развития психики ребенка, подтвердил положение о том, что вначале у него формируется способность выполнять целенаправленные действия по команде взрослого и лишь впоследствии на базе этой способности он научается давать команды самому себе. Отсюда можно предположить, что *генетически первичные способности к выполнению действия по внешней команде оказываются более стойкими и могут давать больший практический эффект, чем производные от них способности к действиям по собственному плану.*

Из проведенного нами исследования можно было также заключить, что на времени реагирования при различных вариантах готовности сказываются и особенности высшей нервной деятельности испытуемых. Так, люди, отличавшиеся большей силой нервной системы и меньшей тревожностью, по внешней команде реагировали значительно быстрее, чем по собственному плану (различие по времени реакции достоверно на уровне $\beta=0{,}99$). Испытуемые же с более слабой нервной системой, с большей тревожностью, действовали по плану так же быстро, как и по команде. Такой результат последних можно объяснить их более высокой активацией и предупредительностью при работе по плану, что, вероятно, является средством компенсации недостающих функций.

---

[8] Леонтьев А. Н. Деятельность, сознание, личность. М., 1975, с. 209.
[9] Лурия А. Р. Внимание и память. М., 1975, с. 32—38.

Из описанного эксперимента вытекает важный практический вывод о целесообразности в особо важных случаях *дополнительных команд и «подсказок» для операторов, действующих по заранее заданному плану.* Исследование показало, что наиболее полезными такие команды и «подсказки» оказываются для операторов с более сильной нервной системой и меньшей тревожностью.

Влияние на время реакции фактора значимости, инструкции и предварительной готовности показывает, что сенсомоторную реакцию нельзя сводить к простому неосознанному рефлекторному акту — она является процессом, протекающим под контролем высшей, *второсигнальной регуляции.* При наличии соответствующих условий влияние этой регуляции на скорость сенсомоторной реакции может увеличиться. Так, экспериментально доказано, что наличие *обратной связи* — подача испытуемому информации о результатах реагирования — способствует снижению времени реакции, особенно в тех случаях, когда заданы нормы времени реагирования и обеспечена высокая мотивация их достижения.

В экспериментальном исследовании времени реагирования, проведенном в Тартуском госуниверситете, было также показано, что этот акт неразрывно связан с механизмами психической саморегуляции. Благодаря этим механизмам человек оказывается способным сохранять требуемое быстродействие и при появлении отдельных неблагоприятных факторов, усложняющих условия деятельности. Так, Х. В. Кайдро[10] показал, что под действием интенсивных шумов, музыки (до 90 дБ) люди могут реагировать так же быстро, как и в тишине. Однако те же шумы и музыка оказываются существенными помехами, заметно увеличивающими время действия, при выполнении более сложной деятельности (активного поиска знаков на электросхеме). Эти опыты свидетельствуют о влиянии механизмов второсигнальной регуляции на скорость реагирования и об ограниченности продуктивного действия этих механизмов уровнем сложности решаемых задач.

Ю. С. Наживин[11] изучал процессы адаптации испытуемых к оптимальным способам реагирования на простые сигналы в зависимости от вариантов инструкции и установил существенное влияние на эти процессы механизмов саморегуляции.

О. А. Конопкин с соавторами[12], анализируя подобные меха-

---

[10] Кайдро Х. В. Влияние раздражителей, не имеющих сигнального значения, на время реакции человека. — В кн.: Об актуальных проблемах экспериментального исследования времени реагирования. Тарту, 1969, с. 18—24.

[11] Наживин Ю. С. Характеристики саморегуляции сенсомоторной деятельности в адаптационный период. Автореф. дис. на соискание уч. степ. канд. психол. наук. М., 1978. 27 с.

[12] Конопкин О. А., Степанский В. И., Кондратьева И. И. О методических особенностях организации хронометрического эксперимента. — «Вопросы психологии», 1973, № 4, с. 159—164.

низмы саморегуляции, отмечает, что важную роль в них играет субъективная модель ситуации, складывающаяся у оператора, которая учитывает условия деятельности, данные обратной связи и прогнозирования момента появления сигнала, его значимость и таким образом способствует созданию необходимой готовности оператора к действию.

В тех случаях, когда на практике не представляется возможным проведение измерений времени простой сенсомоторной реакции, выполняемой по специальной инструкции максимально быстрого реагирования, ее принимают в среднем равной ВР= =0,17 с (при среднеквадратическом отклонении $\sigma=0{,}016$ с), а при отсутствии такой инструкции ВР=0,21 с (при $\sigma=0{,}026$ с).

Кроме самих характеристик времени реакции, в психологии изучались и их *статистические показатели*. Так, И. Е. Цибулевский [13] при исследовании реакции на зрительные сигналы установил, что частота появления различных значений времени реакции распределена по нормальному логарифмическому закону. Между математическим ожиданием этого распределения $m(t)$ и его среднеквадратическим отклонением $\sigma(t)$ имеется корреляция с коэффициентом $k_{m\sigma}=0{,}58$. Полученный результат автор объясняет следующим образом: время реакции ограничено снизу физиологическим минимумом, который для разных испытуемых оказывается примерно одинаковым. Значение же $\sigma(t)$ имеет бóльшую вариацию и существенно отличается у отдельных испытуемых. Кривые гистограммы обычно симметричны (рис. 4.3). У быстро реагирующего испытуемого, у которого значение $m(t)$ оказалось малым ($m_1$), кривая гистограммы вытягивается вверх, и, по-

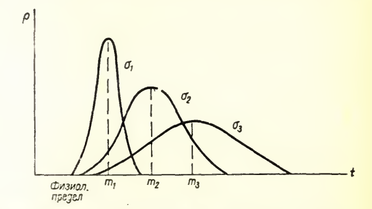



Рис. 4.3. Пояснения к результатам исследования взаимосвязи $m(t)$ и $\sigma(t)$ (по И. Е. Цибулевскому).

[13] Цибулевский И. Е. Запаздывание оператора при обработке зрительных сигналов. — «Автоматика и телемеханика», 1962, № 11, с. 1513—1526.

скольку слева она ограничена физиологическим пределом, сужается, а поэтому ее значение $\sigma_1$ также оказывается меньшим. Напротив, у испытуемого с большим значением времени реакции ($m_3$), имеющего примерно тот же физиологический предел, гистограмма получается широкой, с большим значением среднеквадратического отклонения ($\sigma_3$).

Большое практическое значение для инженерной психологии представляют статистические закономерности распределения времени реагирования, которые здесь широко используются для *прогнозирования временных показателей* деятельности оператора. Большинство экспериментальных данных свидетельствует о том, что случайные величины времени реакции распределяются по закону нормального или усеченного нормального распределения; иногда их описывают законом $\beta$- или $\alpha$-распределения. Последние характеристики могут использоваться для расчета времени считывания показаний цифровых индикаторов, времени считывания надписей на табло, времени принятия решения.

Остановимся кратко на реакциях на движущийся объект, характерных для операторов, которые решают задачи слежения (для оператора радиолокационной станции, летчика и др.).

Наиболее изученной в психологии является реакция на один движущийся объект (РДО). Как уже отмечалось, сигналом для начала ответной реакции здесь является достижение движущейся на экране отметкой некоторой заданной точки. Экспериментально доказано, что латентный период РДО, при прочих равных условиях, короче латентного периода простой сенсомоторной реакции. Такой эффект в РДО достигается за счет возможности предвидения момента совмещения отметки с заданной точкой, что позволяет оператору начинать реакцию с некоторым предвосхищением этого момента. Возможности же для предвидения обусловлены временем «предшествования», т. е. временем, в течение которого оператор наблюдает движения объекта. Как показывают исследования, *с увеличением времени «предшествования» латентная составляющая РДО сокращается.* Более подробно эти вопросы будут рассмотрены в гл. VIII настоящего курса.

### IV.3.2. ВРЕМЯ РЕАКЦИИ НА КОМПЛЕКС РАЗДРАЖИТЕЛЕЙ

Оператору в системе управления приходится, как правило, реагировать не на одиночные сигналы, а на целые комплексы раздражителей, причем часто различных модальностей. Так, например, шофер обнаруживает нарушение в работе мотора и по приборам, и по звуку его работы, а иногда и по запаху. Подобные комплексы ощущений дают ему более полную информационную основу для разностороннего суждения о состоянии управляемого объекта. При этом создаются условия для наглядно-образного отражения в сознании оператора всего объекта в сово-

купности его различных свойств, обеспечивающих его предметное восприятие. Этому способствует наличие в механизме ощущений межанализаторных связей (явления *синестезии*[14]), когда раздражение одного анализатора сказывается на чувствительности другого или образ, вызванный сигналом одной модальности, порождает по ассоциации образ сигнала другой модальности. Все это способствует более целостному восприятию объекта.

Комплексы сигналов могут восприниматься оператором как *одновременно*, так и *развернуто во времени* — при постепенном познании состояния объекта в ходе информационного поиска. Остановимся на более изученном процессе одномоментного восприятия комплекса сигналов различной модальности.

Вопрос одновременного, параллельного приема нескольких раздражителей различных модальностей рассматривается в психологии обычно в двух аспектах: в теоретическом плане — с позиции изучения взаимодействия анализаторов в общей системе рефлекторного акта и в прикладном — с позиции оценки объема информации, передаваемого сигналами различных модальностей, который способен воспринять человек за данный промежуток времени.

Было установлено, что возможности параллельного приема сигналов у человека весьма ограниченны, особенно если эти сигналы логически не связаны между собой; в таком случае один сигнал может служить помехой для восприятия другого. Однако в инженерной психологии чаще приходится иметь дело с восприятием сигналов логически связанных или дублированных по нескольким сенсорным каналам. Экспериментально доказано, что время реакции на одновременное предъявление дублированных сигналов по каналу зрения и слуха оказывается меньшим, чем время наиболее быстрой реакции на каждый из отдельных сигналов. Предполагают, что это достигается за счет того, что осуществляется реакция не на комплекс, а в каждом случае на отдельный, наиболее быстро воспринимаемый раздражитель. В качестве одной из модальностей, дублирующих сигнал, может выступать и звуковая речь. Имеются экспериментальные данные, согласно которым речевое дублирование зрительного сигнала снижает время его обнаружения, причем это влияние особенно проявляется в тех случаях, когда речевой сигнал предшествует предъявлению зрительного сигнала. Данный эффект используется при передаче оператору особо важных сигналов.

Экспериментально установлено, что при одномоментном восприятии комплекса раздражителей существует определенная иерархическая последовательность распознавания отдельных признаков. Даже при восприятии только одного простого зрительного сигнала тоже обнаруживается некая последовательность распознавания его признаков: прежде всего выделяется

[14] **Синестезия** (от греч. synáisthēsis) — совместное чувство, одновременное ощущение.

его яркость относительно фона, затем цветовые характеристики и только потом форма сигнала. При восприятии полимодальных сигналов также существуют доминирующие признаки, распознаваемые в первую очередь. Они определяются физической природой раздражителя, его характером и значимостью для оператора, его ролью в общей информации, поступающей от объекта. Именно такие доминирующие признаки и определяют скорость восприятия объекта и время реагирования на него.

Так, в опытах по восприятию полимодального сигнала, в котором звуковой, световой и тактильный раздражители выступали как дублирующие, было обнаружено доминирующее влияние отдельных раздражителей на время реакции[15]. В сравнительно простых задачах реагирования более быстрому обнаружению сигнала способствовал звуковой раздражитель. В реакциях же большей сложности снижение времени реагирования достигалось за счет зрительного компонента полимодального сигнала. Причем эти ведущие компоненты способствовали не только большей скорости, но и большей точности обнаружения сигнала. Было также установлено, что с усложнением задач влияние эффекта дублирования на снижение времени реагирования падает, а при решении некоторых особо сложных задач время реакции на полимодальный сигнал становится даже бо́льшим, чем на тот же сигнал, переданный посредством раздражителя одной модальности.

Проведенный анализ характеристик восприятия сигналов и времени реагирования на них показал, что эти характеристики зависят от большого числа самых разнообразных факторов, начиная от характеристик раздражителя и условий его воздействия и вплоть до психических и физиологических особенностей личности, на которую он воздействует, ее состояний и решаемых ею задач. Это обстоятельство существенно затрудняет прогнозирование в общем случае временны́х показателей деятельности человека и выдвигает необходимость их определения применительно к конкретной категории людей и конкретным условиям их работы.

В инженерной психологии создаются более благоприятные условия для прогнозирования временны́х характеристик деятельности оператора. Здесь время действия оператора оказывается обусловленным не столько его скоростными возможностями, его состоянием, настроением (хотя немаловажны и эти факторы), сколько разрешаемой им задачей. Именно на основе задачи определяются возможности оператора по обнаружению в сложившихся условиях воздействующих сигналов; исходя из задачи (и

[15] Полторак М. И. Временны́е характеристнкн переработкн человеком полимодальиых сигналов. — В ки.: Проблемы инженериой пснхологни и эргономики. Тезисы к IV Всесоюзиой конфереиции по инженерной психологни и эргоиомике, вып. I. Ярославль, 1974, с. 218—221.

ранее решенных задач) формируется его отношение к этим сигналам, их значимость; исходя из задачи и названных выше факторов определяется и характер реагирования на указанные сигналы, в том числе и его временны́е показатели. Поэтому *на основе анализа задач, возникающих у оператора в данной конкретной системе управления, и условий его деятельности открываются возможности прогнозировать показатели времени действия оператора* при решении этих задач.

## IV.4. ВРЕМЕННЫ́Е ОГРАНИЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА

### IV.4.1. ПОКАЗАТЕЛИ ВРЕМЕННЫ́Х ОГРАНИЧЕНИЙ

Оператор управляет системой и регулирует ее работу в соответствии с установленной программой, которая всегда задается во времени. Эта программа вытекает из задачи, разрешаемой системой «человек—машина», зависит от ее технических характеристик и ограничивает деятельность оператора во времени.

Наряду с внешними техническими временны́ми ограничениями, у человека-оператора существуют и свои внутренние — психофизиологические ограничения, проявляющиеся в его индивидуальных временны́х возможностях. Таким образом, *деятельность оператора в системе управления оказывается ограниченной по времени извне и изнутри* и ее нормальное течение возможно только в пределах этих ограничений, причем если внешние ограничения для всех операторов данной системы оказываются одинаковыми, то внутренние изменяются в зависимости от особенностей и состояний оператора. За счет различия внутренних ограничений у разных операторов при достижении одной и той же цели в равных внешних условиях будут возникать и различные задачи.

Рассмотрим некоторые показатели, позволяющие оценивать степень временны́х ограничений оператора. Работу замкнутой системы «человек—машина» можно определить временем ц и к л а р е г у л и р о в а н и я — *промежутком времени, в течение которого возникает нарушение в системе и осуществляется его устранение,* т. е. приведение системы в исходное состояние, заданное программой. Поясним эту характеристику на примере простейшей одноконтурной схемы регулирования.

Предположим, что задачей оператора является выдерживание в заданных пределах технических параметров управляемого объекта. Пусть по не зависящим от него обстоятельствам один из параметров ($n$) отклонился от заданного значения $n_0$ до значения $n_1$, которое рассматривается как нарушение (рис. 4.4, *а*). Сообщение об этом нарушении появится на индикаторных приборах через время $t_1$, обусловленное инерционностью системы

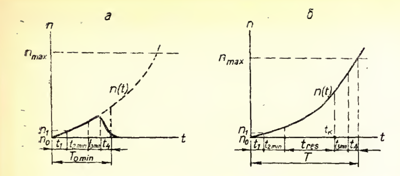



Рис. 4.4. Характеристики, поясияющие понятия миинмального времени цикла регулирования (а) и резервиого времени (б).

измереиия. Для обнаружения этой информации, ее восприятия и принятия по ней решеиия оператору требуется определеиное время $t_2$. На выполиенне управляющнх действий по устраиенню нарушеиия затрачивается время $t_3$. Для прохождеиня этого воздействия в системе управлеиия н прнведения отклонившегося параметра в заданное состояние требуется время $t_4$. Таким образом, период полиого «оборота» иифомации по контуру управлення определится суммой задержек информацин в отдельных звеньях системы «человек—машина»:

$$T_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \tag{4.6}$$

где $T_0$ — время цикла регулирования.

Время прохождення ннформацнн по технческнм звеиьям предопределеио нх коиструкцией. Время же восприятия и преобразоваиия нифомации операторов н его управляющего воздействия, как отмечалось, будет зависеть от цели, а также от виутрениих и внешннх условий деятельиости. Одиако в даииых конкретных условиях у данного оператора имеется какое-то минимальиое время, за которое он способеи, ие испытывая напряженностн, воспрнять, преобразовать указаниую иифомацию ($t_{2min}$) и передать командное воздействие в снстему ($t_{3min}$). Прн этих условиях время цикла регулироваиня будет мнинмальиым ($T_{0\,min}$) и равиым:

$$T_{0min} = t_1 + t_{2min} + t_{3min} + t_4. \tag{4.7}$$

Эта характеристнка является показателем внутреиних ограниченнй оператора (его скоростных возможностей) в рассматриваемой задаче.

Теперь, иаряду с внутрениими ограничеииями, учтем и внешние — техннческие ограинчення, иалагаемые на деятельиость оператора решаемой задачей. Продолжнм тот же пример. Пред-

положим, что оператор, получив сообщение об отклонении за допустимые пределы регулируемого параметра n (на это ушло время $t_{2\,min}$), не реагировал на это отклонение и оно продолжало возрастать. На рис. 4.4, *б* изображена гипотетическая кривая нарастания этого отклонения во времени. Пусть предельно допустимое отклонение параметра n в данной системе ограничено величиной $n_{max}$, превышение которой означает отказ системы. Как следует из рис. 4.4,*б*, если оператор будет медлить с управляющим воздействием, то в момент T произойдет отказ системы. Предположим, что последним моментом, когда вмешательство оператора еще может предотвратить такой отказ, будет $t_k$. Начав в этот момент ввод командного воздействия, оператор имеет последнюю возможность «выхватить» систему и предотвратить ее отказ. На ввод командного воздействия здесь затрачивается минимальное время $t'_{3\,min}$, а на его прохождение в системе — время $t'_4$.

Исходя из рис. 4.4, *б* можно заключить, что оператор в рассмотренном примере будет располагать некоторым избытком времени над минимально необходимым, т. е. резервным временем ($t'_{res}$), которое определяется по формуле:

$$t'_{res} = T - T'_{0\,min} = T - (t_I + t_{2\,min} + t'_{3\,min} + t'_4). \qquad (4.8)$$

Резервным временем, *соответствующим данному состоянию системы, называется избыточное (над минимально необходимым) время, которым может располагать оператор для предотвращения отклонений регулируемых параметров системы за допустимые пределы.*

Здесь значение $T'_{0\,min}$ определяется минимальным временем, которым может располагать оператор для действий по предотвращению отклонений параметра за допустимые пределы и предупреждению отказа системы в рассматриваемых условиях. Заметим, что время $T'_{0\,min}$ будет отличаться от минимального времени цикла регулирования $T_{0\,min}$, поскольку показатель $T_{0\,min}$ определялся исходя из задачи приведения системы в заданное состояние, а значение $T'_{0\,min}$ — исходя из задачи предотвращения отказа системы. Как правило, $T_{0\,min} > T'_{0\,min}$. Однако их различие не столь велико и сравнительно слабо отражается на резерве времени, поэтому в первом приближении, преднамеренно несколько занижая значение $t'_{res}$, его можно принять равным:

$$t_{res} = T - T_{0\,min} = T - (t_I + t_{2\,min} + t_{3\,min} + t_4). \qquad (4.9)$$

Нарушения в системе управления обычно проявляются в виде отклонений от нормы не единичных параметров, а их целых комплексов, поскольку между отдельными параметрами существует тесная взаимосвязь. В таких случаях уже не один, а несколько регулируемых параметров будут приближаться к предельно до-

пустимым значениям. Для подобных ситуаций резервное время исчисляется по тому параметру, который первым может выйти за установленное предельное значение. Таким образом, для каждого нарушения, возникающего в системе, может быть определено соответствующее резервное время данного оператора, ограничивающее его деятельность по управлению.

Заметим, что можно рассматривать объективно существующее резервное время и по нему оценивать деятельность, но можно вести речь и о субъективной оценке оператором собственного резерва времени в возникшей задаче и вытекающем отсюда его отношении к этой задаче.

Как следует из определения, время цикла регулирования и резервное время зависят от характеристик человека и машины. Как уже отмечалось, машинные звенья по своему быстродействию обычно значительно превосходят человека. Элементы автоматического управления срабатывают, как правило, за сотые и тысячные доли секунды, человеку же для реагирования требуются секунды или, в лучшем случае, — их десятые доли. Поэтому время цикла регулирования оказывается обусловленным главным образом временем деятельности оператора.

От оператора зависит и показатель резерва времени, но уже в значительно меньшей степени, чем $T_0$. Если в периоде $T_{0\,min}$ промежуток времени $(t_{2min}+t_{3min})$ составляет бо́льшую часть этого периода, то на периоде $t_{res}$ та же задержка информации в звене оператора отражается значительно меньше. Так, например, если тяжелый пассажирский турбовинтовой самолет под воздействием возмущающего атмосферного фактора начнет накреняться со скоростью 2°/с, то для такой типичной ситуации значения показателей времени будут следующими: $T=19$ с, $T_0=2$ с и $t_{res}=19-2=17$ с. Значение $(t_{2\,min}+t_{3\,min})=1{,}5$ с в таком случае составит лишь незначительную часть от величины $t_{res}$.

Поэтому *для нормальных условий работы системы показатель резервного времени оператора характеризует* не столько возможности человека, сколько *техническую часть системы «человек—машина»* и те условия, в которые она ставит оператора при решении возникшей задачи.

Однако в аварийных случаях, где период T обычно очень невелик, поскольку регулируемые параметры здесь быстро приближаются к предельно допустимым значениям, продолжительность периода T оказывается близкой к $T_{0\,min}$, поэтому и $t_{res}$ остается очень небольшим. Так, если на том же самолете произойдет отказ авиационного двигателя, а его воздушный винт начнет авторотировать и создавать отрицательную тягу, для такой аварийной ситуации при $T=4$ с, при том же $T_{0\,min}=2$ с, $t_{res}$ уже окажется равным всего 2 с.

Следует отметить, что *понятие резервного времени* является чисто *условным* и его не следует понимать в буквальном смысле слова. Оно было введено с учетом того, что задержка информа-

ции в звене оператора определяется минимальным временем, необходимым для восприятия информации, принятия решения и передачи двигательного сигнала в систему управления. Практически же оператор почти никогда не укладывается в это минимальное время и для решения задач управления использует, как правило, ту или иную часть резервного времени. Таким образом, в реальных условиях деятельности у оператора возникают те или иные дополнительные задержки в переработке информации, увеличивающие время его реагирования. Резервное же время определяет те границы, в пределах которых подобные задержки допустимы без какого-либо ущерба для системы.

Для оценки уровня технических ограничений, налагаемых на деятельность оператора, кроме понятия «резервное время», иногда используются также понятия «лимит» или «дефицит» времени. Говоря о *лимите* времени, обычно имеют в виду лишь внешние ограничения по времени, в которое требуется уложиться. Термин *дефицит* времени используется при предположении, что имеющееся в распоряжении оператора время окажется недостаточным для разрешения задачи. Если рассчитывать время, которым располагает оператор, применительно к обычным, нормальным условиям деятельности, то в таком случае возникновение дефицита времени не всегда еще означает, что действие не может быть выполнено своевременно. За счет саморегуляции, как уже отмечалось, человек способен повышать свои скоростные возможности и таким образом нередко компенсировать дефицит времени. Понятие *резервное время,* выводимое исходя из предельных возможностей оператора, оказывается в этом смысле уже более однозначным. Преимущество этого понятия заключается и в том, что оно *одновременно учитывает внешние и внутренние ограничения,* отражая их результирующий уровень.

## IV.4.2. ВРЕМЕННЫ́Е ОГРАНИЧЕНИЯ И СВОЕВРЕМЕННОСТЬ РАБОТЫ ОПЕРАТОРА

Рассмотрим конкретный практический пример влияния временны́х ограничений на действия шофера, приведенный Е. И. Бойко[16]. В зависимости от скорости движения автомобиля степень этих ограничений будет изменяться, поэтому шоферу приходится, исходя из них, соответствующим образом организовать свою деятельность. При этом у него возникает и следующая задача: определить, на каком расстоянии от препятствия следует начинать торможение, чтобы остановиться на безопасной дистанции от него. Для установления этого расстояния нужно, во-первых, определить путь ($S_R$), который успеет пройти машина за время оценки ситуации и принятия шофером решения. Требуется также установить длину тормозного пути автомашины ($S_T$), который, в свою очередь, будет зависеть от состояния тормозной

[16] Бойко Е. И. Указ. соч., с. 392.

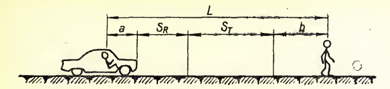



Рис. 4.5. Пояснение к расчету длины опасной зоны движения автомобиля.

системы, шин, сцепления их с дорогой и пр. Длина опасной зоны (L) определится суммой расстояний:

$$L = S_R + S_T + a + b,$$

где a — расстояние от передней точки автомобиля до глаз водителя,

b — расстояние от передней точки уже остановившейся машины до препятствия.

Эти расстояния изображены на рис. 4.5. Если считать, что время сенсомоторной реакции водителя в реальных условиях равно примерно одной секунде (на тренажере он обычно действует за 0,71—0,73 с) и машина движется по сухой дороге при коэффициенте сцепления шин 0,6, то длина опасной зоны, по данным академика Е. А. Чудакова, составит:

— при скорости $v = 10$ км/ч $L = 9$ м,

— при скорости $v = 120$ км/ч она возрастет до $L = 198$ м.

Следовательно, если машина движется со скоростью 120 км/ч по сухой дороге, то для сохранения безопасности движения требуется обнаруживать препятствия на дороге и начинать тормозить перед ними не меньше чем за 200 м.

Приведем примеры использования временных ограничений оператора для оценки вероятности отказа системы из-за его запоздалых действий. При управлении системой, кроме непосредственных функций по поддержанию регулируемых параметров в установленных пределах, на оператора обычно возлагается целый ряд дополнительных обязанностей. Поскольку он обычно действует в условиях довольно жестких ограничений по времени, то подобные обязанности, отвлекающие его от управления, могут приводить к опозданиям с реакцией и к отказам системы. Оценим, в какой степени подобные отвлечения от управления могут отразиться на своевременности деятельности оператора.

К решению этой задачи возможно подойти со следующих позиций. Для многих систем управления можно считать, что возмущения, нарушающие работу системы, возникают по закону пуассоновского потока с определенной интенсивностью $\lambda$.

Вероятность события, когда за время $t$ в системе возникнет одно возмущение, которое оператор способен обнаружить на приборе, составит:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (4.10)$$

С появлением данного нарушения у оператора возникает задача, для разрешения которой он располагает определенным резервом времени ($t_{res}$). Предположим, что оператор отвлечется от управления на время $t_0$, необходимое для выполнения какой-то дополнительной функции, и поэтому не заметит на индикаторе сигнала о нарушении.

В таком случае вероятность события возникновения за время $t_0$ нарушения в системе и истечения у оператора резервного времени, имеющегося для его устранения, определится:

$$F(t_0 - t_{res}) = 1 - e^{-\lambda(t_0 - t_{res})} \quad (4.11)$$

(здесь предполагается, что $t_0 > t_{res}$).

Практика показывает, что в заданных условиях работы системы обычно можно выделить наиболее типичное нарушение и связанное с ним некоторое среднее для рассматриваемой совокупности операторов резервное время ($t_{res}$). Вероятность появления у оператора задач с бо́льшим или меньшим резервным временем будет зависеть от множества случайных факторов. Поэтому можно предположить, что резервное время, с которым приходится случайно сталкиваться оператору, будет распределено по нормальному закону относительно $\bar{t}_{res}$, с соответствующим среднеквадратическим отклонением ($\sigma$).

В таком случае вероятность $R(t_{res\,i})$ появления нарушения с i-м резервным временем составит:

$$R(t_{res\,i}) = \int_{t_{res\,i}}^{t_{res\,i+1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t_{res} - \bar{t}_{res})^2}{2\sigma^2}} dt_{res}, \quad (4.12)$$

где $t_{res\,i}$ — резервное время, соответствующее нарушению i. (В общем случае $R(t_{res})$ может изменяться и по другому закону.)

Поскольку вероятность $F(t_0 - t_{res\,i})$ появления i-го нарушения за данный интервал времени и вероятность $R(t_{res\,i})$ появления такого нарушения, при котором создается именно данное резервное время, — события независимые, то результирующая вероятность $q_i(t_0)$ опоздания оператора с управляющим воздействием в рассматриваемом случае будет равна произведению:

$$q_i(t_0) = [1 - e^{-\lambda(t_0 - t_{res\,i})}] \cdot \int_{t_{res\,i}}^{t} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t_{res} - \bar{t}_{res})^2}{2\sigma^2}} dt_{res}. \quad (4.13)$$

Средняя вероятность $Q(t_0)$ запоздалых действий оператора вследствие того, что он отвлечется от управления на время $t_0$, определяется по формуле:

$$Q(t_0) = \sum_{i=1}^{k} \left[1 - e^{-\lambda(t_0 - t_{res\,i})}\right] \cdot \int_{t_{res\,i}}^{t_{res\,i+1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t_{res} - \bar{t}_{res})^2}{2\sigma^2}} dt_{res}, \quad (4.14)$$

где k — число разрядов, на которые делятся нарушения по их $t_{res}$.

Таким образом, можно, зная закон распределения нарушений в системе и связанные с ними значения резервного времени, рассчитать по формуле (4.14) вероятность опозданий оператора из-за отвлечения от управления на различные периоды времени.

Приведем пример практического использования полученной формулы. Определим, как сказывается на работе летчика отвлечение его от пилотирования самолетом на время $t_0=20$ с. Несколько ограничив задачу, будем оценивать вероятность нарушения режима полета только по крену, возникшему из-за того, что летчик отвлекся от управления. Будем решать эту задачу применительно к деятельности летчика на тяжелом пассажирском самолете. Нарушения в работе системы в данном примере будем оценивать по величине скорости накренения самолета.

На основе экспериментальных данных (они представлены в табл. 4) были определены следующие необходимые для расчетов показатели:

$\lambda=0{,}25$, $\bar{t}_{res}=20$ с, $\sigma=12{,}5$ с и по формуле (4.16)

подсчитаны значения выражения, заключенного в квадратные скобки, для 5 различных вариантов $t_{res}$ ($k=5$). Значения интегралов для указанных величин $t_{res}$ определялись с помощью таблицы нормированных функций Лапласа.

Таблица 4

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Угловая скорость накренения самолета v, °/с | <0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | >2,0 |
| Резервное время $t_{res}$, с | 40 | 24 | 14 | 9 | 6 |
| Частота появления нарушений | 0,114 | 0,430 | 0,180 | 0,700 | 0,080 |

В результате расчетов было получено, что при $t_0=20$ с средняя вероятность появления в рассматриваемых условиях полета крена самолета сверх допустимого составляет $Q(t_0)=0{,}216$.

Аналогичным путем было подсчитано, что если летчик отвлечется от управления самолетом на время $t_0=30$ с, то средняя вероятность превышения допустимого угла крена, т. е. отказа системы, существенно возрастет и будет $Q(t_0)=0{,}749$. При $t_0=10$ с получим $Q(t_0)=0{,}11$.

Данный подход может быть использован для решения другой, не менее важной практической задачи. Известно, что оператор управляет системой в соответствии с сообщениями (командами),

поступающими от различных контрольных приборов. Время, которым располагает оператор для восприятия и выполнения каждой команды, строго ограничено. Поэтому не исключена возможность, что оператор, контролируя одни приборы и реагируя соответствующим образом на их сообщения, опоздает с ответными действиями на команды, поступившие от других приборов.

К решению этого вопроса можно подойти, используя теорию массового обслуживания. Подготовленные операторы осматривают контрольные приборы обычно в определенной последовательности, затрачивая на обзор каждого из них какое-то среднее время. Сообщения об отклонениях от нормы регулируемых параметров — заявки на обслуживание — поступают на данный прибор с определенной интенсивностью, обусловленной конструкцией системы и условиями ее работы. У разных приборов, очевидно, будет различная интенсивность заявок. На обслуживание заявок данного прибора расходуется определенное время, которое будет зависеть от интенсивности обслуживания. Предполагая, что заявки на обслуживание появляются на различных приборах независимо, можно считать, что оператор отвлекается от контроля за данным прибором и его параметром только на время работы с другими приборами. Определяя это время как $t_0$, рассматриваемую задачу можно решить по формуле (4.14). При этом, очевидно, должны быть известны закономерности возникновения заявок, их восприятия и обслуживания, а также данные, необходимые для использования указанной формулы.

Для более полной инженерно-психологической оценки системы с рассматриваемых позиций целесообразно выявить разброс значений резервного времени, характерный для данной совокупности операторов, и по формуле (4.14) определить вероятности запаздывания:

$Q'_1$ — для операторов, действующих наиболее быстро, и
$Q''_1$ — для наиболее медлительных операторов.

Полученный таким образом диапазон изменения вероятности

$$Q'_1 \div Q''_1$$

позволит более полно охарактеризовать связь временны́х ограничений деятельности операторов с показателем ее своевременности.

Представляется также возможность выявить влияние отдельных психофизиологических факторов (утомления, тренированности и т. п.) на указанные временны́е ограничения деятельности оператора и по их изменению, посредством формулы (4.14), оценить влияние этих факторов на работу оператора и системы.

Заметим, что полученные такими методами математические описания деятельности оператора оказываются сравнительно грубыми и могут применяться только для определенного круга задач. Однако благодаря тому, что они описывают действия че-

ловека теми же характеристиками, что и технические звенья, в инженерной психологии они имеют важное практическое значение. Однако *полученные по этим и подобным формулам результаты* следует рассматривать только как *скелетные* данные, которые должны уточняться и дополняться в процессе дальнейших более точных инженерно-психологических исследований.

### IV.4.3. ВРЕМЕННЫ́Е ОГРАНИЧЕНИЯ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ НАПРЯЖЕННОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА И ЗНАЧИМОСТИ ЕГО ЗАДАЧ

Оператору в системе управления приходится действовать в условиях различных временны́х ограничений — от самых жестких условий (характерных для аварийных ситуаций), где задачу возможно выполнить только за счет активной саморегуляции и максимального использования внутренних резервов, до условий, при которых время решения задачи специально не лимитировано. В данном параграфе будут рассматриваться задачи, трудность разрешения которых обусловлена именно высокими временны́ми ограничениями, т. е. задачи с малым резервом времени.

Поскольку временны́е ограничения возникают в результате действия как внешних — технических, так и внутренних — психофизиологических факторов, то, очевидно, те и другие факторы могут явиться причиной появления трудностей в работе оператора. Сокращение времени на выполнение задач, появление новых дополнительных задач, усложнение технических условий, нарушения в работе техники и многие другие внешние причины могут сокращать резервное время оператора. С другой стороны, резерв времени могут сокращать и внутренние факторы: возникновение утомления, ухудшение физического или психического состояния оператора, рассеяние внимания и пр. Любой из указанных факторов может явиться причиной такого увеличения временны́х ограничений, при котором задача станет настолько сложной, что ее успешное разрешение будет возможно только при посредстве саморегуляции.

Как же по мере увеличения временны́х ограничений — от самых малых до самых больших — будут изменяться условия деятельности оператора и проявлять себя механизм саморегуляции? Согласно экспериментальным исследованиям (они будут описаны в гл. VI данного курса), усложнение задач путем повышения временны́х ограничений до некоторого определенного уровня не создает каких-либо трудностей в работе оператора: соответственно ограничениям, он изменяет способы ответных действий и достигает требуемых результатов без какой-либо дополнительной активации. Подготовленный оператор в таких условиях обычно способен легко варьировать темпом и ритмом действий, без особого повышения связанных с ними энергозатрат.

Когда же временны́е ограничения превысят указанное исход-

ное значение, тогда, при прежней организации деятельности, достижение цели становится уже невозможным. Чтобы успешно действовать в подобных условиях, необходимо перестраивать деятельность и использовать саморегуляцию. Благодаря действию этого механизма происходит мобилизация энергетических ресурсов и интенсификация информационных процессов в организме, повышение его чувствительности и избирательности к сигналам, релевантным решаемой задаче. При этом чем более сложная задача предстает перед оператором, тем более высоким уровнем активации, большей информацией будет обеспечиваться ее решение. Следует отметить, что такая саморегуляция может успешно совершаться непроизвольно, без активных волевых усилий оператора и актуализации в его сознании того факта, что более сложная задача требует большего энергетического и информационного обеспечения. Таким образом, благодаря указанным компенсаторным механизмам оператор оказывается способным успешно действовать и при более высоких временных ограничениях. Однако при этом деятельность его становится психически напряженной.

Если задачи будут еще более усложняться и временные ограничения достигнут такого уровня, при котором непроизвольная саморегуляция уже не будет давать нужного эффекта, а показатели деятельности начнут снижаться, то для поддержания требуемых результатов в действие вступит уже активная волевая регуляция целенаправленной деятельности, обеспечивающая более полное использование внутренних ресурсов оператора. В подобных условиях его деятельность становится еще более психически напряженной.

При дальнейшем увеличении временных ограничений и усложнении задач до такого уровня, при котором перестанет давать нужные результаты и активная произвольная саморегуляция, возникают дополнительные сдвиги в структуре деятельности оператора. В подобных условиях он начинает управлять системой, ориентируясь главным образом на достижение наиболее важных результатов и избежание наиболее нежелательных последствий; восприятие и мышление оператора становятся при этом менее детализированными и опираются уже на более крупные оперативные единицы, а регулирование системы осуществляется только по наиболее существенным переменным. В таких условиях оператор иногда может идти к достижению цели, жертвуя выполнением отдельных правил или даже действий. При этом его деятельность становится предельно психически напряженной. Если не помогут и указанные «жертвы», то, при высокой мотивации к достижению цели, такая задача может вызвать у оператора столь высокую психическую напряженность, при которой произойдет срыв саморегуляции и полная дезорганизация деятельности.

Резюмируя изложенное, можно заключить, что *саморегуляция в деятельности оператора возникает с появлением задач опреде-*

*ленной степени трудности и по мере их дальнейшего усложнения проходит определенные фазы.* Соответственно этим фазам будет, очевидно, изменяться и психическое состояние оператора. Заметим также, что указанным фазам и состояниям присущи свои физиологические и психологические особенности, которые позволяют в некоторой мере произвести их разграничение и даже дать им соответствующие наименования.

В. Л. Марищук [17] выделяет с этой точки зрения три категории состояний;

— эмоциональное возбуждение, связанное с непроизвольной саморегуляцией;

— эмоциональное напряжение, свойственное активной и успешной волевой (произвольной) саморегуляции;

— эмоциональная напряженность, характеризуемая такой степенью эмоциональных реакций, которая ведет к нарушению саморегуляции и ухудшению показателей деятельности.

Признавая целесообразность подобного разграничения психических состояний, следует отметить, что наименования, используемые автором для обозначения отдельных состояний, не совпадают с терминологией, уже укоренившейся в общей и инженерной психологии. Здесь термин «напряженность» используется чаще всего для описания состояний, связанных со всеми тремя указанными фазами саморегуляции. Поэтому в нашем изложении мы будем придерживаться более привычной терминологии, определяя все названные состояния, как это делает Н. И. Наенко [18], термином «психическая напряженность» и подразумевая под ним все *психические состояния, порождаемые сложными условиями деятельности.* При этом можно по необходимости уточнять, связана ли эта напряженность с непроизвольной или произвольной саморегуляцией, а также выделять ситуации, когда она достигает такого уровня, при котором происходит срыв процесса саморегуляции.

Психическую напряженность иногда рассматривают с точки зрения природы ее возникновения, исходя из которой О. В. Овчинникова и Н. И. Наенко выделяют две разновидности такой напряженности: операционную и эмоциональную. *Операционная напряженность* расценивается как результат процесса непосредственного преодоления трудностей, возникающих по ходу деятельности (повышенной физической нагрузки, сложных интеллектуальных задач и т. п.). Подобный вид напряженности обнаруживается при сравнительно нейтральном отношении испытуемого к процессу деятельности, невысокой значимости выполняемых действий, т. е. при малом удельном весе в психической напряженности эмоционального фактора. *Эмоциональная* же *напряженность* рассматривается как состояние, порождаемое значи-

[17] Марищук В. Л. Методология исследований по инженерной психологии и психологии труда. Ч. I. Л., 1974, с. 83.

[18] Наенко Н. И. Психическая напряженность. М., 1976, с. 41—45.

мостью выполняемых действий, интенсивными переживаниями хода деятельности и ожидаемых результатов, т. е. как состояние, обусловленное только эмоциями, вызванными этой деятельностью.

Прилагая указанное деление психической напряженности к операторскому труду, связанному, как правило, с высокой ответственностью, высокой ценой ошибки, можно заключить, что ему более свойственна эмоциональная напряженность, хотя на отдельных этапах работы, в отдельных задачах в такой деятельности может возникать и операционная напряженность. Однако, поскольку эти виды напряженности тесно связаны и практически их весьма сложно разделить, в дальнейшем мы будем рассматривать их совместно, определяя одним общим понятием — психической напряженностью. Операционная же напряженность, фактически являющаяся результатом тяжести самого труда, скорее может использоваться как косвенный показатель внешних условий труда, с точки зрения их тяжести.

Итак, возвращаясь к временны́м ограничениям, можно заключить, что они, являясь показателем трудности задачи оператора, оказываются и некоторой мерой психической напряженности его деятельности. Исходя из этих соображений был введен [19] *коэффициент напряженности* ($К_н$), который определяется следующим отношением:

$$К_Н = \frac{Т_{комф}}{Т_{расп}}, \quad (4.15)$$

где $Т_{комф}$ — комфортное время, потребное оператору для безошибочного разрешения задачи в нормальных условиях;

$Т_{расп}$ — время, которым располагает оператор для выполнения задачи.

Как следует из (4.15), указанный коэффициент определяет степень сложности задачи и уровень вытекающей из нее психической напряженности по отношению к комфортным условиям деятельности.

А. Зигель и Дж. Вольф [20] предложили формулу для оценки напряженности ($К'_{Н1}$) состояния оператора в условиях предельно жестких временны́х ограничений, когда он вынужден ориентироваться на выполнение только существенных действий:

$$К'_{Н1} = \frac{Т_1}{Т_0 - Т_1}, \quad (4.16)$$

где $Т_1$ — время, необходимое оператору для выполнения остав-

[19] Эргономика. Принципы и рекомендации, вып. 4. М., 1972, с. 70—72.
[20] Зигель А., Вольф Дж. Модели группового поведения в системе «человек—машина». М., 1973, с. 48.

шихся i существенных действий;

$T_0$ — полное время, имевшееся в распоряжении оператора;

$T_j$ — время, затраченное оператором на выполнение j действий, предшествовавших оставшимся.

В проведенном рассмотрении было показано, что рост временных ограничений усложняет задачи оператора и повышает напряженность его деятельности. Однако изучение операторского труда позволяет сделать вывод о том, что существует и обратное явление, когда чрезмерно низкие временные ограничения также, но по-своему ухудшают условия деятельности, требуют ее перестройки и вызывают состояние психической напряженности. Большой избыток времени при малом притоке информации порождает у оператора состояние низкой психической активности, скуки, своего рода монотонности. Однако при этом оператору требуется сохранять состояние готовности к быстрым и энергичным действиям на отдельные срочные и важные задачи, которые неожиданно могут возникать в подобных условиях. Для поддержания такой готовности оператор вынужден искусственно, за счет волевых усилий, активизировать свое состояние, что порождает определенный уровень психической напряженности. При длительной работе в подобных условиях может потребоваться произвольная саморегуляция самого высокого уровня и возникнуть такая напряженность, которая повлечет за собой нарушение нормальной деятельности оператора (неадекватные оценки информации, непроизвольные моторные действия и т. п.).

Таким образом, при создании систем «человек—машина» приходится заботиться о том, чтобы временные ограничения в деятельности оператора были не только не очень большими, но и не очень малыми, т. е. не выходили из определенных пределов. Для оценки степени занятости оператора с этой точки зрения был предложен[21] коэффициент его загрузки ($K_3$) в виде следующего отношения:

$$K_3 = \frac{t_{2\min} + t_{3\min}}{T_{расп}}, \quad (4.19)$$

где $(t_{2\min} + t_{3\min})$ — минимальное время, за которое оператор способен выполнить возложенную на него задачу.

Значение этого коэффициента, как считает автор, не должно выходить из следующих пределов:

$$0{,}1 \leqslant K_3 \leqslant 0{,}75.$$

Временные ограничения, выступая как показатель сложности задач оператора, могут в некоторой мере служить и показателем значимости для него этих задач. Для установления функциональной связи между уровнем временных ограничений, налагаемых

---

[21] Выщепан Л. И. Влияние врабатываемости оператора на продолжительность процессов в системах управления и контроля. — В кн.: Прикладные вопросы инженерной психологии, вып. 1. Таганрог, 1974, с. 87.

на оператора данной задачей, и ее значимостью для него нами был проведен специальный эксперимент, сущность которого сводилась к следующему. Опытным летчикам предъявлялась информационная модель, на которой в динамике отображалось определенное нарушение режима полета, и они, выступая в роли экспертов, должны были оценивать значимость для них этой ситуации при заданных условиях полета. Для проведения исследования была изготовлена приборная доска с действующими пилотажными приборами, на которой можно было имитировать информацию о различных нарушениях режимов полета и посредством сброса специальной шторки предъявлять такие «динамические картины» испытуемым. В опытах предъявлялись разнообразные ситуации нарушений режима полета относительно различных осей самолета, и испытуемые указывали оценки значимости (по семибалльной системе), которые они усматривали в каждой предъявляемой ситуации.

Эксперимент показал, что все испытуемые считали ситуацию тем более значимой, чем большими были в ней временны́е ограничения. При обработке результатов эксперимента каждая предъявляемая ситуация была подвергнута специальному анализу, на основе которого было рассчитано среднее резервное время, которым располагали в ней испытуемые. Таким образом, представилась возможность для соотнесения показателя резерва времени, которым располагал летчик в каждой данной ситуации, и той оценкой значимости, которой он определял эту ситуацию.

Полученные результаты представлены на рис. 4.6, где построены кривые, отражающие связь между $t_{res}$ ситуации и той средней значимостью ($C^*$), которой она была оценена. На рис. 4.6, *а* изображены раздельно результаты оценок нарушений режима полета относительно различных осей самолета, а на рис. 4.6, *б* представлены оценки значимости различных нарушений режима полета, данные отдельно летчиками I, II и III класса.

Анализ полученных данных показал, что связь между резервным временем определенной ситуации и ее значимостью для летчика может быть апроксимирована экспоненциальной зависимостью вида:

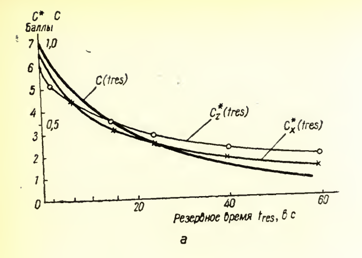
$$C(t_{res}) = e^{-\lambda t_{res}}. \tag{4.20}$$

где $C(t_{res})$ — значимость ситуации, обусловленная временны́ми ограничениями оператора;

$\lambda$ — интенсивность потока событий, равная $\lambda = \frac{1}{\bar{t}_{res}}$;

$\bar{t}_{res}$ — среднее резервное время, при котором действует оператор.

Теоретические кривые, построенные по формуле (4.20), изображены на рис. 4.6 жирными линиями. Расчетной величине значимости $C=1$ на графиках соответствует экспертная оценка $C^*=7$ баллов. Статистическое сопоставление экспериментальных



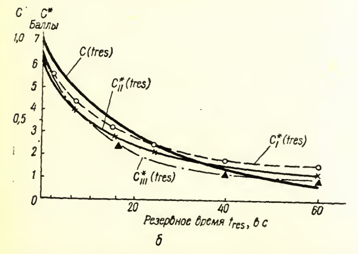




Рис. 4.6. Зависимость значимости сообщеиий от располагаемого резервиого времени для реагироваиия иа иего: а) значимость сообщеиий об отклоиеииях самолета отиосительио его продольиой (Z) и поперечиой оси (x) как фуикция резервиого времеии $C_z^*(t_{res})$, $C_x^*(t_{res})$ (экспериментальиые кривые); б) оцеики значимости сообщеиий, даиные летчиками I класса $C_I^*(t_{res})$, II класса $C_{II}^*(t_{res})$ и III класса $C_{III}^*(t_{res})$ (экспериментальиые кривые). Теоретические кривые $C(t_{res})$, получеииые по расчетной формуле (4.20), изображеиы жириыми лииями.

и теоретическнх крнвых по результатам всех опытов свидетельствует о совпаденнн нх с довернтельиой вероятностью $\beta=0{,}95$, причем нанбольшее совпадеине с теоретнческой кривой имеет место в оценках значимостн, даиных летчнками I класса.

Такнм образом, данный экспериmeит позволяет заключнть, что *по уровням временных ограничений,* возникающнх в отдельных задачах *оператора, возможно априорно приближенно оценивать значимость для него этих задач.* При этом следует заметнть, что формула (4.20), определяющая значнмость задачн, нмеет смысл только начниая с определеиного нсходного уровия временных ограннченнй, — уровня, когда вступает в действне механизм саморегуляцин. Если этому уровню ограинчеинй соответствует резервное время $t_{reso}$, то формулу (4.20) следует счнтать справедливой для задач, в которых $t_{res}<t_{reso}$.

* * *

На этом заканчивается рассмотренне временных характеристнк оператора и снстемы. Следующая глава посвящена изученню столь же важных характеристнк деятельностн оператора и снстемы «человек—машниа» — характернстнк их точиостн.

# Глава V. Точность работы оператора и системы

## V.1. ТОЧНОСТЬ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА

### V.1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ

Для выполиення оператором возложениых иа него функций необходимо и достаточно, чтобы его действня отвечали установленным требованиям не только по времеин, но н по точностн. Поэтому характерnстнкн точности работы оператора и вопросы нх обеспечення оказываются в ннжеиерной пснхологин столь же важными, как и рассмотреиные в предшествующей главе проблемы временн реагнровання н связаиные с ннми характернстнкн.

Точиость *работы оператора — это показатель соответствия его действий заданной программе.* Программа работы может задаваться оператору как в внде последовательности действий, которые иужно выполнять в устаиовлениом порядке, так и в виде некоторого результата, который должеи быть достнгиут. Однако, наряду с трудовым заданием, оператору прнходнтся руководствоваться н многочислеными правнламн, указаниями, инструкцнями, которые дополияют н уточияют программу деятельиости, виосят в нее колнчественные крнтерии. Благодаря этому в обонх

случаях у оператора складываются достаточно конкретные представления о показателях работы системы, которые должны быть достигнуты при выполнении отдельных действий, а также о тех изменениях, которые должны произойти в системе для получения требуемого результата. Такие представления и явятся теми образами-эталонами, относительно которых оператор будет организовывать свою деятельность и поддерживать ее точность в процессе реализации программы.

Итак, точность может служить показателем качества практической деятельности оператора, т. е. показывать, в какой мере ему удается выдерживать параметры работы системы в соответствии с заданной программой. В инженерной психологии характеристика точности выполняет и другую функцию: она используется также как инструмент исследования психической деятельности оператора. Точность, как и время реагирования, является весьма доступным для измерения показателем деятельности, позволяющим количественно оценивать ход и результаты психических процессов. Точность работы может также служить показателем индивидуальных различий операторов, индикатором их психических и физических состояний, показателем влияния различных внешних факторов (в том числе и технических) на их деятельность.

Характеристика точности, как и времени реагирования, выступает, кроме того, и в качестве сугубо инженерно-психологического показателя, отражающего степень согласованности техники с психофизиологическими возможностями человека-оператора. Этот показатель важен в инженерной психологии и потому, что он определяет деятельность человека в тех же единицах, в каких оценивается точность работы технических устройств, что облегчает оценку их взаимодействия и результирующей точности системы «человек—машина».

## V.1.2. ПРОБЛЕМА ТОЧНОСТИ

Проблема точности одинаково актуальна и для деятельности человека, и для работы техники, и при обеспечении их взаимодействия. В реальном процессе управления, как бы идеально он ни был организован и ни осуществлялся, *результаты действия человека, а также показатели работы техники будут иметь некоторые отклонения от заданных программных значений, которые принято называть* погрешностями.

Пока погрешности находятся в допустимых пределах (а они задаются в программе, уточняются инструкциями, правилами), это является нормальным явлением и принципиально не отражается на результатах функционирования отдельных звеньев и всей системы в целом. Когда же *погрешность в работе оператора превышает установленное предельное значение,* это событие уже на-

рушает нормальную работу системы и *квалифицируется как* ошибка *оператора.*

В тех случаях, когда *погрешность в работе оператора* достигает такого значения, *при котором становится невозможным дальнейшее выполнение оператором его функций или показатели его деятельности выходят за пределы, необходимые для достижения цели, такое событие определяется уже как* отказ *человека-оператора.*

Точность *системы принято характеризовать величиной, обратной ее предельно допустимой погрешности.* Чем у́же пределы, в которых находится погрешность оператора или системы, тем выше точность их работы.

Когда речь идет о системе «человек—машина», раздельная оценка точности работы человека и техники без учета их взаимного влияния становится весьма сложной. Так, например, неудачно выбранная шкала прибора, неудобная рукоятка управления могут сказаться на точности работы оператора. В то же время от умения оператора зависит точность работы техники. Отметим при этом, что как оператор может парировать или, наоборот, увеличивать погрешности техники, так же и техника может компенсировать либо усугублять погрешности оператора.

Управляя системой, оператор воздействует обычно на целый комплекс параметров, допуская при регулировании каждого из них определенную погрешность. Поскольку между параметрами системы существует динамическая взаимосвязь, погрешности в управлении одними параметрами могут отражаться на погрешностях регулирования других параметров и способствовать их росту.

Общая погрешность системы слагается из погрешностей ее отдельных звеньев. Так, например, результирующую погрешность выдерживания скорости автомобиля обусловливают: погрешность спидометра, погрешность шофера, погрешность системы управления скоростью. Все эти факторы различны по своей физической природе и измеряются в разных единицах: погрешность спидометра — в км/ч, погрешность управляющего воздействия шофера — в миллиметрах движения педали акцелератора, погрешность системы передачи этого воздействия — в градусах поворота рычага на карбюраторе. Поэтому *погрешности отдельных звеньев* удобнее *расценивать* не по их абсолютным значениям, а *по тому удельному весу, который принадлежит каждой из них в общей результирующей погрешности системы.* Для рассматриваемого примера это будут веса погрешности прибора, погрешности движения шофера, погрешности кинематической передачи в результирующей погрешности выдерживания скорости автомобиля. Все они могут быть выражены в одних и тех же единицах — скорости движения, измеряемой в км/ч.

При таком подходе возможно оценивать роль отдельных звеньев системы в формировании ее результирующей погрешно-

сти, оценивать процесс накопления погрешностей в различных частях системы. При этом погрешность, возникшая в одном звене, может быть в той или иной степени усилена или ослаблена в последующих.

Опыт практического применения систем «человек—машина» показывает, что чаще всего погрешности превышают допустимые нормы в звене «человек». Так, согласно опубликованным данным, в США ошибки человека обусловливают 50% происшествий в авиации, выводят из строя 20—35% исправной ракетной техники[1].

Итак, проблема точности работы системы «человек—машина» оказывается весьма сложной: здесь на проблему точности работы человека налагаются дополнительные проблемы точности работы техники и точности их взаимодействия.

Наиболее разработанной частью этой проблемы являются вопросы погрешностей измерительных приборов и их восприятия.

## V.2. ПОГРЕШНОСТИ И ИХ ОЦЕНКИ

### V.2.1. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерением *принято называть действие, посредством которого определяется отношение одной (измеряемой) величины к другой однородной величине, принимаемой за единицу.* В задачу измерения входит не только нахождение самой величины, но также и оценка погрешности, допущенной в этом действии. Все погрешности оператора и измерительных приборов принято делить на систематические и случайные.

Систематические *погрешности возникают под влиянием одинаково и постоянно действующих факторов,* которые при большом числе измерений многократно повторяются. У оператора подобные погрешности могут возникать по следующим причинам:

— невыполнение правил измерения (например, неучет параллакса, возникающего при отсчетах приборов сбоку);

— невыполнение правил оценки результатов (например, неучет таблиц поправок);

— индивидуальные недостатки, связанные с профессиональными, личностными качествами (например, неумение интерполировать положение стрелки).

---

[1] Справедливости ради следует отметить, что столь высокий процент ошибок операторов, вызывающих отказы техники, свидетельствует, кроме того, и о неудовлетворительной согласованности этой техники с возможностями оператора. Оператор, как правило, никогда преднамеренно технику не ломает. Следовательно, большое количество ошибок оператора вызвано недостатками техники и условиями его работы. Если речь идет о выходе из строя техники из-за ошибок операторов, то это еще не означает, что виновником отказов является оператор, а не сама техника, их провоцирующая.

Систематические погрешности индикаторных приборов могут иметь следующее происхождение:

— теоретические, вызванные неучетом в их конструкции некоторых физических факторов, влияющих на принцип работы (например, неучет температурных влияний на работу измерителя);

— инструментальные, обусловленные ограниченной точностью измерителя.

Систематические погрешности оператора устраняются путем его обучения либо при помощи соответствующей калибровки или градуировки шкалы. Те погрешности, которые не удается устранить, обычно сводятся в таблицы поправок, которые оператор учитывает при оценке показаний приборов. Два последних пути используются также для устранения систематических погрешностей измерительных приборов.

Случайные *погрешности возникают под влиянием нестабильно действующих факторов, появление которых нельзя предусмотреть заранее.* У оператора и приборов такие погрешности могут быть обусловлены нестабильностью окружающих условий (давления, температуры, влажности и пр.), а также могут возникать и за счет внутренних факторов. В частности у оператора они могут порождаться множеством причин, вытекающих из его физического и психического состояния.

Случайные погрешности человека и техники устранить невозможно. Их можно только снизить: у оператора — путем обучения, создания более благоприятных условий деятельности, повышения значимости измеряемой величины и пр., у приборов — путем их технического усовершенствования. Однако на основе различных статистических распределений можно прогнозировать закономерности возникновения случайных погрешностей у человека и прибора.

Среди случайных погрешностей иногда выделяют промахи — *значительные случайные погрешности* (обычно уже ошибки или отказы), которые появляются, как правило, в результате рассеяния внимания, интерференции навыков, под влиянием сильного утомления. Проверка того, в какой степени данная грубая ошибка действительно является промахом, осуществляется путем повторения тех же измерений через некоторое время.

Все погрешности измерения у оператора или прибора, независимо от природы их возникновения, принято делить на *абсолютные, относительные* и *приведенные.* Если речь идет об измерительном приборе, то его погрешности определяются из сопоставления результатов измерения данного прибора и прибора более высокого класса точности (эталонного). Если же рассматриваются погрешности отсчетов оператора, то они оцениваются по отношению к показаниям, представленным на шкале прибора (последние определяются посредством точных технических методов). При оценке общей погрешности измерения (прибора и опе-

ратора) результаты отсчета соотносятся с показаниями эталонного индикатора.

Остановимся на указанных погрешностях измерения.

Абсолютная погрешность определяется разницей между измеренной и действительной величиной (последняя оценивается по более точному индикатору). Если $a_x$ — измеренная величина, $a$ — действительная величина, то абсолютная погрешность ($\Delta a$) измерения будет:

$$\Delta a = a_x - a. \quad \mathbf{(5.1)}$$

Она выражается в тех же единицах, что и измеряемая величина. Абсолютная погрешность не характеризует точности измерения. Так, если секундомер измеряет время с точностью до 0,1 с, то для многих технических измерений такая точность оказывается достаточно высокой, однако для измерения времени реагирования она уже явно недостаточна. Поэтому для оценки точности измерения используют относительные погрешности.

Относительная погрешность ($\beta$) представляет собой выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемого параметра:

$$\beta = \frac{\Delta a}{a} 100\%. \quad (5.2)$$

Как видно из формулы (5.2), с уменьшением значения измеряемой величины относительная погрешность будет бесконечно возрастать. Поэтому она, отражая точность измерения, не характеризует самого измерителя. Для оценки точности измерительного прибора используются приведенные погрешности.

Приведенная погрешность ($\beta_n$) выражается отношением абсолютной погрешности к верхнему пределу измерения, т. е. к максимальному значению шкалы $a_m$ (или диапазону шкалы, если в середине имеется нулевая отметка):

$$\beta_п = \frac{\Delta a}{a_m} 100\%. \quad (5.3)$$

По максимальной величине приведенной погрешности оценивается класс точности индикатора. По точности работы в нормальных условиях индикаторные приборы делятся на следующие классы (табл. 5).

Таблица 5

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Класс точности | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,5 | 4,0 |
| Максимальная приведенная погрешность | ±0,1 | ±0,2 | ±0,5 | ±1,0 | ±1,5 | ±2,5 | ±4,0 |

Погрешности приборов в нормальных условиях называются *основными*, а в условиях, отличных от нормальных, — *дополнительными* (например, погрешности измерения при необычном давлении воздуха, необычной влажности и т. п.).

## V.2.2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Предположим, что при измерении величины $a$ было допущено $n$ различных вариантов абсолютных погрешностей: $\Delta a_1$, $\Delta a_2, \dots$, $\Delta a_n$, причем вероятность появления каждой такой погрешности оказалась соответственно: $p_1$, $p_2 \dots p_n$. В таком случае средняя величина систематической погрешности ($\Delta\bar{a}$) будет определяться математическим ожиданием $m(a)$:

$$\Delta\bar{a} = m(a) = \sum_{i=1}^{n} p_i \Delta a_i. \tag{5.4}$$

Аналогичным путем можно подсчитать погрешности управляющих действий оператора, погрешности, с которыми он решает отдельные задачи мышления и пр., а также погрешности, возникающие в различных технических звеньях. Если они появляются независимо, то общая систематическая погрешность (M) системы, состоящей из k последовательных звеньев, определится суммой:

$$M = m_1 + m_2 + \dots \quad \dots + m_k, \tag{5.5}$$

где $m_1, m_2, \dots, m_k$ — систематические погрешности соответственно 1, 2, ..., k звена, пересчитанные к выходному показателю системы.

Случайные погрешности оцениваются по среднеквадратическому отклонению ($\sigma$):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\Delta a_i - \Delta\bar{a})^2}{N-1}}, \tag{5.6}$$

где N — число испытаний.

Случайные погрешности, если они независимы, обычно распределяются по «нормальной» кривой, используя которую можно сравнительно точно предсказать появление тех или иных значений погрешностей. Так, зная значение $\sigma$ и задавая соответствующий предел погрешностей, можно с помощью таблицы нормированных функций Лапласа определить вероятность появления погрешности в заданном пределе.

Если случайные погрешности отдельных звеньев возникают независимо, то результирующее среднеквадратическое отклонение ($\sigma_s$) системы, состоящей из k таких звеньев, определится по формуле:

$$\sigma_S = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_k^2}, \tag{5.7}$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k$ — среднеквадратические отклонения погрешно-

стей соответственно 1, 2, ..., k звена, выраженные в единицах выходного показателя.

Для совместной оценки систематических и случайных погрешностей системы может быть использована зависимость:

$$\Delta = M + 2\sigma, \qquad (5.8)$$

где $\Delta$ — общая погрешность системы. (Зависимость справедлива с вероятностью $\beta = 0{,}95$.)

При оценке погрешностей системы иногда используется характеристика вариации ($\nu$):

$$\nu = \frac{\sigma}{M}. \qquad (5.9)$$

Если систематическая погрешность ($M$) мала по сравнению со случайной ($\sigma$), то первой иногда пренебрегают. Так, при $\nu > 3$ доля систематической погрешности в общей составит несколько процентов, в связи с чем ее можно не учитывать.

Тот факт, что $\sigma$ случайных погрешностей отдельных звеньев аккумулируются в системе в соответствии с их квадратами (5.7), имеет важное практическое значение. Покажем это на примере.

Предположим, что случайная погрешность указателя скорости (спидометра) автомобиля определяется $\sigma_1 = 2$ км/ч, случайная погрешность отсчетов скорости по этому прибору в процессе движения определяется $\sigma_2 = 5$ км/ч, случайная погрешность при установлении скорости водителем характеризуется $\sigma_3 = 3$ км/ч. Тогда общая случайная погрешность, возникающая в системе при выдерживании заданной скорости, согласно (5.7), определится среднеквадратическим отклонением ($\sigma_s$):

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} \approx 6{,}15 \text{ км/ч}.$$

Если для повышения точности данной системы будут полностью устранены случайные погрешности указателя скорости ($\sigma_1$) и управления ($\sigma_3$), то общая погрешность системы снизится до уровня $\sigma_s' = 5{,}0$ км/ч (т. е. примерно на 18%). Если бы удалось устранить случайную погрешность одних только отсчетов, то показатель общей случайной погрешности системы снизился бы до $\sigma_s'' = 3{,}6$ км/ч (т. е. уже на $\sim$ 41%).

Из приведенного примера следует, что целесообразно бороться в первую очередь со случайными погрешностями в тех звеньях, где они являются наибольшими. Очень часто таким звеном оказывается человек. Из этого же примера следует и другой важный вывод: если оператор допускает большие случайные погрешности, целесообразно снижать эти погрешности не за счет повышения точности прибора, а путем обеспечения лучшего согласования работы прибора и оператора.

## V.3. КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ОШИБОК ОПЕРАТОРА

Для классификации ошибок оператора может быть использовано издавна принятое в экспериментальной психологии деление ошибок человека на следующие четыре категории:

— невыполнение требуемого действия,
— неточное выполнение требуемого действия,
— выполнение нетребуемого действия,
— несвоевременное выполнение требуемого действия.

Подобное общее деление ошибок, представляющее интерес в теоретическом плане, для инженерной психологии оказывается все же недостаточно конкретным.

Детальный анализ ошибок оператора и их происхождения является одним из основных путей решения многих инженерно-психологических задач (не случайно же инженерных психологов и эргономистов иногда называют «специалистами по ошибкам»), поэтому необходимо создание более полной и конкретной классификации. Для систем «человек—машина», действие которых зависит от многих сложно связанных факторов различной природы, четкая классификация ошибок необходима и как методическое средство, указывающее направление и последовательность изучения причин ошибки.

В качестве примера классификации, наиболее соответствующей такому подходу, может служить классификация ошибок оператора, предложенная Г. М. Зараковским и В. И. Медведевым [2].

Каждая ошибка здесь анализируется с позиции следующих основных критериев:

А. Место ошибки в структуре функционирования системы «человек—машина».
Б. Внешнее проявление ошибки.
В. Последствия ошибки.
Г. Характер отображения ошибки в сознании оператора.
Д. Причины ошибки.

По каждому названному критерию были разработаны методы более детального анализа ошибки.

При оценке **места ошибки в структуре функционирования системы** *(пункт А)* уточняется, в какой конкретно системе произошла ошибка, при выполнении какой технологической операции, при выполнении какого действия она возникла. При этом авторы предполагают, что для каждой рассматриваемой системы имеется классификация всех используемых в ней технологических операций, а также классификация отдельных действий.

При определении **внешнего проявления ошибки** *(пункт Б)* решается задача отнесения возникшего отказа системы «чело-

[2] Зараковский Г. М., Медведев В. И. Классификация ошибок оператора. — «Техническая эстетика», 1971, № 10, с. 5—6.

век—машина» к определеиной категории (предполагается, что в каждой системе имеются перечии различиых видов возможиых отказов).Здесь устаиавливается, что́ имеиио в действиях оператора отклоияется от существующих правил (пропуск действий, их перестаиовка, выполнение иепредусмотреиного действия, иарушение времеинóго интервала, иеправильные измерения, интерфереиция иавыка и пр.

**Последствия ошибки** *(пункт В)* анализируются с трех точек зрения:

— *по влиянию ошибки на эффективность системы* «человек—машина» (рассматриваются различные уровни изменения эффективности системы и выделяется тот, к которому привела эта ошибка);

— *по ее влиянию на деятельность оператора* (оцеиивается степеиь этого влияния, воздействие ошибки иа структуру деятельиости, возможиость появлеиия иовых ошибок и пр.);

— *по той «цене», которой приходится расплачиваться* оператору за эту ошибку (общефизиологическим, психологическим, нервио-психическим иарушеиием и пр.).

*Пункт Г* предполагает аиализ ошибки по критерию **степени ее осознаниости.** Возможны ошибки осознаиные и неосознаные. Осознанные ошибки могут сопровождаться актуализацией компенсаториых возможностей, но могут проявляться и без такой актуализации.

В последнем пункте — пуикте Д — анализируются уже **причииы ошибки.** Здесь авторы выделяют три категории причин: иепосредствеииые, главиые и способствующие. Остаиовимся более подробио на всех этих причинах ошибки.

Непосредствеиные причины ошибки различаются с двух точек зрения.

1. *По месту в структуре деятельности.*

По этому критерию ошибки оператора подразделяются иа следующие виды:

— восприятия (зрительиого, слухового, кинестетического и пр.);

— памяти (сохранения, воспроизведеиия; оперативиой, долговремениой);

— принятия решения (при действиях по правилам, в логических операциях, при подсчетах, при творческом мышлеиии);

— ответиой реакции (движеиия, речевого ответа, запомииания) и др.

2. *По виду нарушенных* закономерностей выделяются следующие виды ошибок:

— несоответствие процесса переработки ииформации (чрезмерный поток ииформации, иедостаток ииформации, иедостаток исходиых даииых; несоответствие интеисивности сигиалов пороговым характеристикам; неправильная

оценка вероятности появления информации, ее значимости);
— несоответствие навыка (перенос навыка в условия, где он неприменим, недостаточный навык, ошибки переключения навыка и пр.);
— недостатки внимания (неправильное распределение внимания или его переключение, недостаточная концентрация, чрезмерная концентрация).

*Главные* причины ошибки оператора могут быть связаны со следующими факторами:

а) рабочее место оператора (недостатки распределения функций между человеком и техническими устройствами, недостатки информационной модели, компоновки оборудования, условий жизнеобеспечения);
б) организация труда и отдыха;
в) подготовка оператора и системы к выполнению данной задачи;
г) физическое и психическое состояние оператора;
д) установка оператора к выполнению задачи.

Причины, *способствующие* возникновению ошибки, вытекают уже из более фундаментальных свойств оператора или условий его жизни и деятельности. Они возникают из общих особенностей его личности, общего состояния здоровья, системы его подготовки, общей организации труда, условий жизни, взаимоотношений в коллективе и пр.

Основное достоинство описанной классификации ошибок заключается в том, что она объединяет в единую систему большое число разнородных факторов: учитывает различные причины, порождающие ошибку, ее внешнее проявление, вытекающие из ошибки последствия. Кроме того, она указывает последовательность проведения психологического анализа при расследовании ошибочных действий оператора.

Следует отметить, что даже при наличии четкой системы классификации при анализе ошибок оператора возникает ряд дополнительных трудностей, которые порождаются следующими причинами.

Во-первых, чтобы установить сам факт возникновения ошибки, нужно точно знать существующие нормы и допустимые погрешности для рассматриваемых условий работы системы. Так, например, ошибку необнаружения летчиком цели на экране радиолокатора трудно диагностировать, поскольку, как правило, отсутствуют четко заданные предельные нормы минимальной величины и яркости отметки, при превышении которых цель во всех случаях должна обнаруживаться. Еще сложнее устанавливать причины ошибок. По каким, например, критериям можно судить о недооценке вероятности появления сигнала или недооценке его значимости?

Во-вторых, при анализе ошибки оператора приходится при-

нимать во внимание, наряду с причинами ее возникновения, также причины несвоевременного обнаружения оператором своей ошибки и ее неустранения.

В-третьих, при анализе ошибок оператора часто бывает сложным установить их первопричину. Так, например, недостатки шкалы индикаторного прибора могут в некоторой мере усложнять условия деятельности оператора, однако далеко не всегда они являются причиной ошибочных отсчетов показаний с этого индикатора.

Можно указать и другие трудности анализа и диагностирования причин ошибок оператора, связанные с оценкой его состояний, условий деятельности и пр. Все они свидетельствуют о сложности анализа причин ошибочных действий оператора и значении, которое принадлежит в этом вопросе системе классификации.

## V.4. ВЛИЯНИЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ РАБОТЫ ОПЕРАТОРА

### V.4.1. ВЛИЯНИЕ ЗАДАЧИ НА ТОЧНОСТЬ РАБОТЫ

В настоящем курсе уже неоднократно подчеркивалось, что поведение человека в условиях целенаправленной деятельности подчинено разрешаемой задаче. Это положение было подтверждено материалами предшествующей главы, где было показано, что в соответствии с требованиями задачи, с ее значимостью изменяются показатели чувствительности оператора, изменяется время его реагирования. В данном параграфе будет показано, как наличие образных представлений о задаче отражается на точности восприятия приборной информации. Рассмотрим этот вопрос на примере проведенного нами исследования.

При изучении деятельности летчиков по пилотированию самолетом в реальных условиях полета посредством фотографирования движений глаз было установлено, что на обзор отдельных пилотажных приборов летчики затрачивали очень малое время порядка 0,3—0,5 с, — время, за которое, казалось бы, трудно отсчитать показания прибора. Такой результат для условий полета, где летчик, наряду с восприятием показаний приборов, попутно выполняет много других задач, где деятельность человека усложняется за счет действия различных факторов полета, представлялся особенно странным. При этом возникал вопрос: является ли столь быстрое восприятие приборной информации в полете результатом тренированности летчиков или оно достигается благодаря другим психологическим причинам?

Ответ на него мы пытались найти посредством лабораторного

эксперимента с летчиками. В его основу была положена следующая предпосылка. Если быстрый отсчет показаний приборов обусловлен только высокой тренированностью, то летчики и на земле смогут за это же время с неменьшей точностью отсчитывать показания этих приборов. Для проверки этой гипотезы была изготовлена тахистоскопическая установка, позволяющая предъявлять на короткие интервалы времени шкалы отдельных пилотажных приборов. В опытах использовались реальные пилотажные индикаторы: указатель скорости (УС), указатель курса (УК), указатель высоты (УВ) и вариометр — прибор, измеряющий скороподъемность (ВАР). Внешний вид шкал этих приборов представлен на рис. 5.1. В экспериментах участвовало 30 опытных летчиков. Перед началом эксперимента испытуемым давалась инструкция за время экспозиции прибора по возможности точнее отсчитывать его показания, а перед каждым предъявлением сообщалось, какой именно прибор будет экспонироваться.

Из ранее проведенных нами исследований было известно, что погрешности отсчетов этих приборов, при неограничении времени восприятия, в 95—98% случаев не превышают одного деления шкалы. Поэтому было принято условие: считать отсчет ошибочным, если его погрешность превысит указанную норму; если же погрешность отсчета превысит три деления шкалы — расценивать его как грубую ошибку.

Результаты эксперимента представлены на рис. 5.2, где для четырех исследуемых индикаторов построены соответствующие кривые $\Delta_1(t_э)$, отображающие изменение вероятности ошибочных отсчетов ($\Delta_1$) как функцию времени экспозиции ($t_э$) индикатора. Из этих характеристик можно заключить, что для достижения точности отсчетов на уровне $\Delta_1<0{,}1$ в условиях лабораторного эксперимента время предъявления приборов должно составлять в основном 1,2 с и более (исключением является только вариометр — индикатор с наиболее простой для отсчетов шкалой). Эксперименты показали, что уровень летной квалификации и опыт работы на точности отсчетов не отразились. Таким обра-

Рис. 5.1. Внешний вид пилотажных приборов, использованных в эксперименте по оценкам точности их отсчетов.

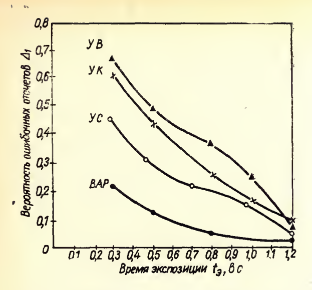



Рис. 5.2. Изменение вероятности ошибочных отсчетов приборов: указателя высоты (УВ), указателя курса (УК), указателя скорости (УС) и вариометра (ВАР) — в зависимости от времени их экспозиции.

зом, полученные данные свидетельствовали о том, что быстрые отсчеты исследуемых приборов в условиях полета нельзя объяснить тренированностью летчиков.

Оставался неразрешенным вопрос: за счет чего же летчики в условиях полета могли так быстро отсчитывать показания приборов?

Согласно теории предметной деятельности, поиск ответа на него следовало вести, анализируя деятельность, в которой используются рассматриваемые индикаторы. Как известно, информацию этих пилотажных приборов летчик использует для выдерживания заданного режима полета, т. е. для приведения текущего состояния системы в соответствие с состоянием, которое задано программой. Для этого ему приходится соотносить каждое фактическое значение параметра с тем значением, которое предусмотрено программой, а при обнаружении различия устранять его.

Следовательно, оператора в этой деятельности прежде всего будет интересовать не абсолютное значение регулируемого параметра, а его отклонение от заданного значения. Это отклонение, или, как его иногда называют, рассогласование, на стрелочном индикаторе представлено в виде угла на его шкале, — угла между фактическим положением стрелки и воображаемым положением, в котором ей следовало находиться согласно программе. Можно было предположить, что образ этого угла — «вилки» на

шкале прибора — и служит тем критерием, по которому оператор обнаруживает задачу и изыскивает пути ее разрешения.

Справедливость такого предположения подтверждается некоторыми факторами, характерными для деятельности летчиков. Так, например, известно, что команды на изменение курса самолета, изменение скорости полета в летном экипаже передаются не в виде абсолютных значений параметров, которые нужно задать, а в виде рассогласований, которые требуется устранить: «доворот вправо 5°» или же «увеличить скорость на 10» (км/ч).

Для экспериментального подтверждения высказанного положения была проведена вторая серия опытов, отличающаяся от предшествующей только тем, что испытуемым предварительно задавался режим полета, относительно которого следовало оценивать приборную информацию (высоту, курс, скорость полета и изменение его высоты). В этих опытах они должны были отсчитывать «вилки» между заданным и фактическим значением параметра на индикаторе.

Результаты второй серии опытов в виде кривых $\Delta_2(t_э)$ — изменения вероятности ошибочных отсчетов ($\Delta_2$) как функции времени ($t_э$) для приборов УВ, УК, УС и ВАР — представлены на рис. 5.3 жирными линиями. Для сравнения на тех же графиках изображены аналогичные характеристики $\Delta_1(t_э)$, полученные по результатам первой серии опытов. Там же пунктирными линиями представлены кривые $\Delta_{2гр}(t_э)$ и $\Delta_{1гр}(t_э)$, описывающие вероятность появления грубых ошибок в зависимости от времени экспозиции, соответственно для опытов второй и первой серии.

Как видно из полученных кривых (рис. 5.4), при отсчетах «вилок» существенно снизилась вероятность ошибок, по сравнению с отсчетами абсолютных значений тех же параметров. Статистический анализ показал, что точность отсчетов в опытах второй серии была существенно выше, чем в опытах первой серии (достоверность различия на уровне $\beta = 0{,}9$). В опытах второй серии грубых ошибок почти не было.

Из этих же кривых следует, что при восприятии «вилок» 80—90% отсчетов выполнялось за время 0,3—0,5 с и с такой же точностью, как и при неограниченном времени восприятия тех же приборов. Таким образом, полученные результаты явно свидетельствовали о том, что для восприятия приборной информации в виде «вилок», т. е. в связи с решаемой задачей, летчикам в основном достаточно было 0,3—0,5 с.

Как можно объяснить влияние разрешаемой задачи на точность восприятия приборной информации?[3] Во-первых, знание заданного значения параметра облегчает условия восприятия показаний приборов в чисто перцептивном плане: взгляд летчика сразу падает на тот участок шкалы, где может оказаться стрелка.

---

[3] Трактовка результатов описываемого эксперимента давалась совместно с Д. А. Ошаниным.

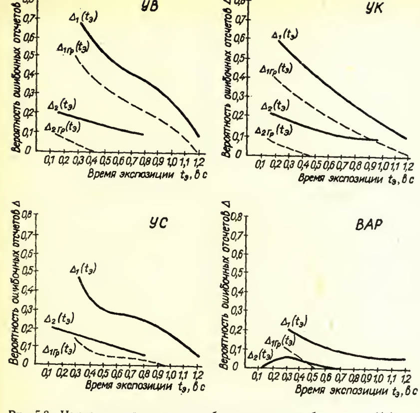



Рис. 5.3. Изменение вероятности ошибочных отсчетов абсолютных ($Δ_1$) значений параметров и «вилок» ($Δ_2$) в зависимости от времени экспозиции ($t_э$); $Δ_{1гр}$ и $Δ_{2гр}$ — вероятности грубых ошибок при отсчетах соответственно абсолютных значений и «вилок».

Во-вторых, образ «вилки» уже включает в себя два логически связанных фактора: существующее и заданное значения параметра. Если в подобных условиях при отсчетах прибора будут возникать промахи, то они будут порождать нелогичные «вилки», что послужит поводом для проверки и отсева таких отсчетов. Поэтому *задача, воплощенная в образе «вилки» как в перцептивном, так и в логическом плане будет способствовать повышению точности отсчетов.*

Однако можно было предположить, что роль задачи в повышении точности отсчетов этим не ограничивается. Ведь в реальных условиях деятельности оператору задаются не просто изолированные значения параметров, а комплекс параметров, между которыми существует логическая взаимосвязь. Поэтому задан-

ные параметры должны отражаться в сознании оператора тоже в виде связного образа — некоторого образа-эталона заданного режима работы системы, вытекающего из программы деятельности. Следовательно, и весь этот образ также должен способствовать более точному восприятию показаний приборов.

С целью подтверждения этого предположения была проведена третья серия опытов, в основу которой была положена следующая предпосылка: если более высокая точность отсчетов во второй серии обусловлена только названными выше преимуществами восприятия образа «вилки», то и при отсутствии логической связи между отдельными параметрами режима работы системы точность отсчетов останется такой же высокой. Если задать такие значения скорости, высоты, курса полета, каждое из которых в отдельности возможно на данном самолете, но в сочетании, которое практически нереально, то по таким нелогичным данным летчики не смогут создать и логичного образа-эталона. В подобных условиях точности отсчетов смогут способствовать только те преимущества, которые возникают за счет отсчета «вилки». Поэтому третья серия опытов отличалась от второй тем, что в ней задавались нелогичные данные о режиме полета.

Оказалось, что в третьей серии опытов, где по заданным параметрам невозможно было создать логически связный образ режима полета и наглядно представить задачу, точность отсчетов, по сравнению со второй серией (где такая возможность была), оказалась существенно ниже (статистическая достоверность различия $\beta = 0,9$). Итак, эксперименты показали, что *наличие у оператора образного представления о заданном режиме работы системы является дополнительным фактором, способствующим более точному восприятию приборной информации о текущем состоянии этой системы.*

Полученные результаты и сделанное по ним заключение могут иметь следующее объяснение. Образ «вилки», как уже отмечалось, является некоторым «логическим фильтром», препятствующим восприятию ошибочных данных с прибора, однако только в связи с заданным значением параметра. *Образ же всего заданного режима полета,* включающий в себя целый комплекс взаимосвязанных параметров, в таком случае выступает в качестве еще более строгого «логического фильтра», *препятствующего восприятию данных, ошибочных* по отношению ко всему комплексу логически связанных параметров этого режима.

Таким образом, данное исследование показало, что при восприятии приборной информации применительно к решаемой задаче точность отсчетов повышается. Оно подтвердило высказанное в гл. II положение о том, что оператор воспринимает с информационной модели не абсолютные значения регулируемых параметров, а их отклонения от значений, заданных программой. Данные проведенного исследования могут служить также экспе-

риментальным подтверждением описанного в гл. II и представленного на рис. 2.3—2.5 процесса саморегуляции. Если взять средние значения вероятности ошибочных отсчетов по описанным выше сериям эксперимента, то получится следующая весьма показательная картина.

В первой серии, где испытуемые воспринимали показания приборов в отрыве от задачи, не опираясь при этом на какой-либо образ, средняя вероятность ошибочных отсчетов составляла $\overline{\Delta}_1 = 0{,}272$. В третьей серии, где уже имелась возможность при отсчетах приборов действовать с учетом образа заданного значения параметра, средняя вероятность ошибочных отсчетов снизилась до значения $\overline{\Delta}_3 = 0{,}168$. Когда же испытуемые воспринимали показания приборов с опорой на образ заданного режима полета (вторая серия), средняя вероятность ошибочных отсчетов еще более снизилась — до значения $\overline{\Delta}_2 = 0{,}125$. Итак, данный эксперимент показал, что *с увеличением уровня обобщения образа, на который опирается оператор в процессе решения задачи, возрастает надежность его работы.* Иначе говоря, эти данные показывают, что расширение уровня обобщения образа является средством компенсации неопределенности возникшей задачи и способом повышения надежности ее разрешения.

В рассмотренном исследовании испытуемые были ориентированы на отсчеты приборов с максимально возможной точностью. Наличие образа задачи и опора на него при восприятии информации способствовали им в этом, как бы расширяя их возможности по точности отсчетов. Однако знание задач выполняет и другую важную функцию в деятельности оператора: оно обусловливает ту точность, с которой оператор *практически* воспринимает показания приборов. Опыт показывает, что операторы, действуя в реальных условиях, довольно редко считывают показания индикаторов и управляют системой с предельно возможной точностью. Так, например, показания хронометра, которые могут оцениваться с точностью до секунды, оператор обычно воспринимает с точностью до 0,5—1 мин, и такая точность чаще всего оказывается вполне достаточной для решения большинства его задач. Лишь в отдельных случаях, когда это необходимо, оператор ведет отсчеты показаний хронометра по секундам.

Исходя из всего сказанного можно заключить, что *оператор воспринимает показания индикаторных приборов,* осуществляет расчеты, выполняет управляющие действия *с той точностью, которая диктуется решаемой им задачей.* Поэтому для инженерной психологии весьма *важно устанавливать те эксплуатационные меры точности,* с которыми оператор выдерживает значения различных параметров системы, и определять *диапазоны изменения этих мер* точности при решении различных задач управления.

## V.4.2. РЕГУЛЯЦИЯ ТОЧНОСТИ

До сих пор речь шла о влиянии содержательной стороны задачи на точность действий оператора. Те перцептивные и логические факторы, которые способствовали более точному восприятию показаний прибора, в рассмотренном эксперименте вытекали фактически из интеллектуальной стороны смысла решаемой задачи. Однако и другая сторона смысла — эмоциональная, обусловливающая значимость для оператора этой задачи, также будет отражаться на точности ее разрешения. Покажем это на ряде примеров.

Х. Р. Блаквелл[3] экспериментально установил, что если за высокую точность опознания сигналов вводить материальное стимулирование, то этот фактор будет способствовать повышению точности действий. Д. Г. Элькин[4] показал, что если в опытах по оценке продолжительности временных интервалов вводить наказание за ошибки, то точность таких оценок возрастает.

Фактор значимости влияет не только на точность выполнения отдельных частных действий, он отражается и на стратегии организации всей деятельности, а через нее и на ее точности. Это было показано А. И. Эббером при исследовании точности работы телеграфисток Таллинского телеграфа. Автор анализировал характер и причины ошибок, которые допускали телеграфистки при передаче различных сообщений. Было установлено, что при передаче адреса допускается в полтора раза меньше ошибок, чем в остальной части телеграммы, несмотря на то, что большая часть текста (около 55%) приходится на адрес и словарная сложность адреса значительно выше сложности остального текста. Такой результат объясняется различной значимостью для телеграфисток первой и второй части телеграммы. Первая ее часть — адрес — оказывается существенно более значимой, чем вторая — содержание телеграммы, поскольку ошибка в адресе ведет, как правило, к недоставке телеграммы адресату (за что телеграфистку лишают премии), тогда как ошибка в тексте обычно компенсируется избыточностью текста и поэтому мало отражается на передаче сообщения.

Все эти примеры свидетельствуют о том, что человеку в процессе деятельности свойственно регулировать ее внутреннюю организацию и достигать за счет этого такой точности, которая требуется для решаемой задачи и адекватна ее значимости. Наличие подобной саморегуляции подтверждается и тем обстоятельством, что точность работы оператора в значительной мере зависит от поступления к нему по цепи обратной связи сведений

---

[3] Blakwell, H. R. Studies of psychophysikal metods for measuring visual thresholds. — «Journal of the Optical Society of America», 1952, vol. 42, N 9, p. 606—616.

[4] Элькин Д. Г. Влияние сигнального значения раздражителя на восприятие его длительности. — «Докл. АПН РСФСР», 1960, № 1, с. 65—68.

о результатах его деятельности. Так, Е. А. Климов[5] приводит данные эксперимента, в котором фиксировалась точность работы испытуемых и одновременно их время реакции. О неточных действиях, допущенных в опытах, испытуемым постоянно сообщалось, о времени же реагирования они не знали. При тренировке в подобных условиях шло непрерывное понижение числа ошибок (более чем в 5 раз), скорость же реагирования при этом увеличивалась очень незначительно. Примечательно, что после допущенной ошибки точность последующего действия обычно заметно повышалась. Таким образом, благодаря наличию обратной связи показатель точности стал как бы «подотчетным», что обусловило саморегуляцию и прогрессирование деятельности именно по этому показателю.

Тот факт, что точность отсчета индикатора зависит от требований задачи в большей мере, чем от перцептивных характеристик индикатора, подтверждается следующим примером. Самолетный авиагоризонт (рис. 7.8) имеет довольно грубую шкалу крена (с ценой деления 5° и оцифровкой через 15°), однако, исходя из высоких требований к выдерживанию крена, летчики научаются отсчитывать крен по этому прибору с точностью до $\pm 1{,}3°$, значительно превышающей показатели отсчетов других, более точных, но менее значимых приборов.

## V.4.3. ТОЧНОСТЬ И СКОРОСТЬ ДЕЙСТВИЯ

На связь между показателями точности и скорости действий обратил внимание еще в 20-х годах советский психолог К. Н. Корнилов. В наше время этот вопрос приобрел практическое значение в связи с проблемами трудовой и инженерной психологии, где он рассматривается в различных аспектах.

Так, в теоретическом плане при изучении биоэлектрической активности различных областей мозга было установлено[6], что словесная инструкция «действовать с максимальной точностью» ведет к активации зрительной системы и центров, обеспечивающих оценку стимулов в сложных ситуациях. При этом возрастает точность действий, но снижается двигательная готовность, что ведет к увеличению времени реагирования.

Связь между точностью и скоростью действий с точки зрения обучения операторов анализировал В. Д. Шадриков[7]. Он провел

[5] Климов Е. А Индивидуальный стиль деятельности в зависимости от типологических свойств иервной системы. Казаиь, 1969, с. 278.

[6] Рутмаи Э. М. О иекоторых механизмах оперативной иастройки иа скорость или точность в ситуации реакции выбора. — В кн.: Проблемы инженерной психологии и эргономики, вып. 1. Тезисы докладов к IV Всесоюзиой конференции по инженерной психологии и эргономике. Ярославль, 1974, с. 224—225.

[7] Шадриков В. Д. Двухцелевая деятельность как источник иапряженности иа этапе обучения. — В ки.: Проблемы инжеиерной психологии, вып. III, ч. 2. Тезисы докладов III Всесоюзиой конфереиции по инженерной психологии Ярославль, 1972, с. 179—182.

следующий эксперимент. Одной группе испытуемых давалась инструкция действовать как можно быстрее и точнее, второй группе — действовать как можно быстрее, а третьей — действовать как можно точнее. Результаты тренировок в трех этих группах за 9 дней, усредненные по последним 3 дням, представлены в табл. 6.

Таблица 6

| Показатель деятельности | Установка в инструкции | | |
|---|---|---|---|
| | на скорость и точность | на скорость | на точность |
| Среднее время реакции, с | 5,04 | 4,06 | 4,82 |
| Среднее число ошибок за сеанс | 2,2 | 1,9 | 1,1 |

Опыты показали, что обучение по инструкции, ориентирующей испытуемых на одновременное повышение скорости и точности, наименее эффективно. Автор приходит к заключению, что наиболее целесообразно ориентировать испытуемых на точность работы. При этом в результате тренировок вначале достигается высокая точность, после чего испытуемые сами начинают следить за скоростью и улучшать также и этот показатель.

Связь между точностью и скоростью работы в условиях жестких временны́х ограничений исследовали Г. А. Сергеев и А. Ф. Романенко[8]. Они установили, что в таких затруднительных условиях человек способен сохранять устойчивость работы, жертвуя, однако, при этом в какой-то степени ее точностью. *Очень высокие и жесткие требования к точности* в подобных случаях *могут приводить к снижению устойчивости и стабильности работы оператора,* а иногда и к ее срыву. Авторы указывают, что здесь возникает тот же конфликт, что и в системах автоматического регулирования: условия устойчивости системы требуют определенной величины коэффициента усиления, что, в свою очередь, снижает точность действий.

Показатели точности и скорости реагирования, как уже отмечалось, являются индикаторами инженерно-психологических исследований. Поэтому и в этом смысле возможно произвести сопоставление названных показателей. К. В. Бардин[9] экспериментально показал принципиальное различие между этими индикаторами. Суть его раскрывается на следующем примере. Создадим оператору оптимальные условия деятельности по восприятию информации и будем постепенно усложнять их. Ус-

[8] Сергеев Г. А., Романенко А. Ф. Статистические методы оценки эффективности передаточной функции человека-оператора. — «Вопросы психологии», 1965, № 4, с. 140—150.

[9] Бардин К. В. Использование времени реакции для исследования сенсорных процессов. — В кн.: Об актуальных проблемах экспериментального исследования времени реагирования. Тарту, 1969, с. 10—11.

ложнение условий прежде всего обнаружится в увеличении времени реакции. Этот показатель является весьма чувствительным индикатором, и с его помощью удается обнаруживать самые небольшие затруднения при приеме сигналов, причем они обнаруживаются задолго до того, как начинают сказываться на точности работы. Однако этот чувствительный индикатор (время реакции) при дальнейшем усложнении задачи перестает действовать — в задачах высокой трудности он может даже давать неадекватные показания.

Точность — менее чувствительный индикатор. С его помощью можно обнаруживать только большие затруднения в деятельности оператора. Он особенно хорошо действует тогда, например, когда приходится оценивать показатели восприятия очень слабых сигналов, близкие к пороговым значениям, где трудности оказываются высокими. В подобных условиях время реакции уже не дает достоверных показаний.

Исходя из этих данных, К. В. Бардин пришел к заключению, что *время реакции более подходит для анализа таких сигналов, которые достаточно интенсивны и близки к оперативному порогу. Показатель же точности скорее применим для оценки процессов восприятия более слабых сигналов, близких к психофизиологическому порогу,* т. е. оценки таких сигналов, восприятие которых ограничено предельными возможностями сенсорной системы.

### V.4.4. НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАБОТЫ ОПЕРАТОРА И СИСТЕМЫ

Большое разнообразие причин, порождающих ошибки операторов, определяет и большое количество различных путей предупреждения этих ошибок. Здесь будут рассмотрены три основных направления уменьшения количества ошибок оператора и их влияния на точность работы системы: повышение точности работы оператора за счет обучения и тренировки, повышение точности его работы за счет согласования техники с возможностями оператора, повышение точности системы за счет фильтрации ошибок оператора.

*Влияние обучения на точность* работы оператора хорошо иллюстрирует исследование С. Я. Рубинштейн[10]. При появлении новой профессии — специалистов по перфорированию карточек для ЭВМ — предполагалось, что точность их работы будет зависеть от двигательных навыков пальцев. Поэтому для такой работы отбирались девушки с длинными пальцами, предпочтительно играющие на пианино. Их подготовка шла в основном в области развития двигательных навыков и продолжалась 6—7 месяцев. Несмотря на профессиональный отбор и сравнительно

[10] Рубинштейн С. Я. Опыт исследования по психологии труда. — «Вопросы психологии», 1956, № 4, с. 46—53.

длительный срок обучения, точность работы подготовленных таким путем операторов была крайне низкой.

Поэтому возникла необходимость проведения специального психологического исследования причин большого числа ошибок, допускаемых такими операторами. Исследование показало, что основная часть их ошибок (60%) была связана не с моторной областью, а со сферой восприятия (ошибками в чтении цифр). В основном ошибки имели сенсорное или сенсомоторное происхождение, частично возникали и из-за рассеяния внимания. Авторами исследования была предложена новая методика обучения специалистов по перфорированию карт, которая опиралась на развитие зрительно-двигательных связей и обеспечивала за 1,5—2 месяца подготовку операторов, действовавших достаточно точно.

Теперь приведем пример использования другого подхода для повышения точности работы оператора — *согласования техники* с его деятельностью. В одной из навигационных систем систематически возникали ошибки в определении курса. Проведенный анализ показал, что эти ошибки появлялись по вине оператора: он включал тумблер, который следовало включать только в аварийных случаях. В начале работы он ставил в верхнее положение все выключатели на пульте, в том числе и тот выключатель, который предназначался для аварийных случаев. Такие ошибки операторов были полностью исключены путем простых технических изменений — постановки этого аварийного переключателя под красный колпачок.

Пример третьего подхода — повышения точности работы системы за счет *фильтрации ошибок оператора* — приводит А. Чапанис[11]. При введении данных в ЭВМ операторы систематически допускали 1—2% ошибок. Такой высокий процент ошибок операторов был недопустим в данной системе. Снизить его не удавалось ни за счет тренировок операторов, ни за счет технических усовершенствований. Разрешить этот вопрос удалось, использовав дублирование операторов и включение в систему дополнительного устройства, которое сравнивало данные, введенные обоими операторами, и пропускало в ЭВМ только те, которые совпадали. В таком случае вероятность прохождения в систему ошибки оператора была обусловлена появлением у обоих операторов одинаковой ошибки в одной и той же операции. Такая вероятность определяется по следующей формуле:

$$P = \sum_{s=1}^{N} [p_s \sum_{i=1}^{n} (p'_{si} \cdot p''_{si})], \qquad (5.10)$$

где $P$ — вероятность прохождения в систему ошибки оператора;

$p'_{si}$ — вероятность появления ошибки типа $i$ у первого оператора при выполнении операции $s$;

[11] Цит. по кн.: Ломов Б. Ф. Человек и техника. М., 1966, с. 74.

$p''_{si}$ — вероятность появления ошибки типа i у второго оператора при выполнении операции s;

$p_s$ — вероятность появления операции s из n возможных;

n — число различных типов ошибок оператора, которые могут возникнуть при выполнении операции s.

Результаты подсчетов по формуле (5.10) показывают, что при использовании подобного дублирования и при том же уровне погрешности операторов вероятность прохождения в систему ошибочных данных уже будет $P=0{,}000037$. Таким образом, при данной схеме фильтрации на миллион операций в ЭВМ может пройти всего 37 ошибок против 10—20 тысяч ошибок в прежней схеме.

Если бы в новой схеме параллельно работали 3, 4 и более операторов, вероятность прохождения в систему ошибки еще более снизилась бы. Однако при этом на входе сравнивающего устройства все чаще появлялись бы несовпадающие данные и время простоя ЭВМ возрастало бы. При параллельной работе 50—100 операторов машина вообще не работала бы, поскольку в каждой операции, при существующей вероятности ошибок операторов, кто-нибудь из них допускал бы ошибку. Таким образом, в данной схеме, обеспечивающей фильтрацию ошибок оператора, более высокая точность достигается за счет увеличения затрат — использования дополнительных операторов и дополнительных простоев ЭВМ.

Метод фильтрации ошибок оператора широко используется также для предотвращения прохождения в систему таких управляющих сигналов, которые могут привести к выходу из строя техники или создать опасную для оператора ситуацию. Так, например, в автопилоте специально устанавливаются устройства, которые не пропускают в систему управления сигналов, ведущих к недопустимым эволюциям самолета.

## V.5. ОГРАНИЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА ПО ТОЧНОСТИ

### V.5.1. РЕЗЕРВ ТОЧНОСТИ

В главе IV было рассмотрено влияние на деятельность оператора временны́х ограничений. Здесь будет продолжено изучение этого вопроса, но уже с позиции влияния на его деятельность ограничений по точности.

Как уже отмечалось, в программе действий и существующих инструкциях, наряду с состоянием системы, указываются и технические ограничения, в пределах которых должны удерживаться ее параметры. Эти требования выступают в качестве внешних ограничений деятельности оператора. С другой стороны,

оператор располагает определенными индивидуальными возможностями по точности выдерживания этих параметров, которые являются уже его внутренними — психофизиологическими ограничениями. Таким образом, *оператор при выполнении заданной программы действует в условиях внешних и внутренних ограничений по точности.* Внешние ограничения по точности, как и ограничения по времени, для всех операторов данной системы обычно одинаковы, внутренние же — сугубо индивидуальны, поэтому именно ими определяются различия условий деятельности и задач отдельных операторов этой системы.

Уровень ограничений деятельности оператора по точности можно оценивать количественно, используя тот же подход, который был применен при оценке ограничений по времени.

Определим общую результирующую погрешность ($\delta_j$) выдерживания данного j-го параметра системы в виде суммы погрешностей ее отдельных звеньев, приведенных к единицам измерения этого параметра:

$$\delta_j = \delta_{1j} + \delta_{2j} + \delta_{3j} + \delta_{4j}, \quad (5.11)$$

где $\delta_{1j}$ — погрешность системы индикации по параметру j,
$\delta_{2j}$ — погрешность оператора при восприятии и переработке информации,
$\delta_{3j}$ — погрешность управляющих действий оператора,
$\delta_{4j}$ — погрешность передачи командного воздействия в системе управления и управляемом объекте.

Указанные погрешности включают в себя случайную и систематическую составляющие и могут определяться по формуле (5.8). Если учесть, что в рассматриваемых условиях оператор будет действовать с минимальной погрешностью ($\delta_{2j\min}$) восприятия и переработки информации и минимальной погрешностью ($\delta_{3j\min}$) при управлении, то можно определить минимальную результирующую погрешность ($\delta_{j\min}$) выдерживания данного параметра:

$$\delta_{j\min} = \delta_{1j} + \delta_{2j\min} + \delta_{3j\min} + \delta_4. \quad (5.12)$$

Обозначим границу предельно допустимого отклонения данного j-го параметра через $D_j$ и введем, по аналогии с резервным временем, понятие резерва точности $\delta_{jres}$ в виде разности:

$$\delta_{jres} = D_j - \delta_{j\min}. \quad (5.13)$$

Резервом точности *оператора по управлению данным параметром системы назовем ту наибольшую дополнительную погрешность (относительно минимально возможной в рассматриваемых условиях), которую оператор еще вправе допускать, не выводя значения этого параметра за установленные пределы.* Этот показатель будет учитывать одновременно внешние и внут-

ренние ограничения оператора по точности. Поскольку отклонения регулируемого параметра могут быть в большую и меньшую сторону от заданного значения и не равными по величине, условимся исчислять резерв точности по тому отклонению, где создается меньшее значение $\delta_{jres}$.

Рассмотренная в гл. IV характеристика резервного времени по существу является частным случаем резерва точности. Она определяется на основе различия между требованиями задачи и возможностями оператора только по показателю быстродействия (одной из характеристик точности — своевременности). В этой связи следует отметить одно принципиальное различие этих двух характеристик. Резерв времени отражает всю создавшуюся в системе ситуацию в целом и может лимитировать изменение во времени любого ее параметра. Показатель же резерва точности всегда определяется применительно к данному конкретному физическому параметру. В каждой задаче управления оператор располагает одним резервом времени и обычно рядом резервов точности по разным параметрам.

Приведем пример определения резерва точности, с которым приходится сталкиваться оператору при выдерживании, например, заданной температуры. Пусть погрешность индикатора температуры по техническим условиям не должна превышать значения $\delta_1 = 2°$; минимальная погрешность, с которой оператор способен считывать его показания, составляет $\delta_{2\,min} = 1°$, а его минимальная погрешность управления температурой $\delta_{3\,min} = 1°$. Погрешность технической части системы управления, приведенная к измеряемому параметру, по техническим условиям не должна превышать $\delta_4 = 0{,}5°$. В этом случае минимальная погрешность рассматриваемого участка управления в сумме составит $\delta_{min} = 4{,}5°$. Если предельное отклонение температуры от нормы допустимо до $D = 7{,}5°$, то резерв точности оператора по этому параметру в таких условиях, согласно (5.13), будет $\delta_{res} = 3°$.

Анализируя приведенный пример, следует сделать ряд пояснений. Ведь погрешность — величина случайная, поэтому, чтобы оперировать указанными величинами подобным образом, приходится делать некоторые допущения. В частности, при оценке минимальных погрешностей оператора используется формула (5.8), определяющая эти показатели по границам наиболее вероятного диапазона, в котором заключены погрешности. Распределение погрешностей технических звеньев, как правило, неизвестно, поэтому данные погрешности принимаются исходя из технических условий, определяющих пределы, в которых могут находиться отклонения данного параметра. Указанные допущения рассчитаны на худший вариант возникновения погрешности, поэтому они будут обусловливать некоторое занижение значения $\delta_{res}$, не нарушая рассматриваемой закономерности.

Резерв точности оператора по каждому отдельному параметру будет зависеть от условий его деятельности, которые, в

свою очередь, будут определяться резервамн точности по другим параметрам н резервом временн. Исходя из отдельных ограннченнй, оператор органнзует свою деятельность, распределяет вннманне. Поэтому повышение требоваинй по точности к отдельному параметру отражается не только на резерве точностн по этому параметру, но н на резервах точностн по другнм параметрам, на резерве временн, т. е. на организацин всей деятельностн оператора.

## V.5.2. ВЛИЯНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО ТОЧНОСТИ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАТОРА

Как можно заключнть нз сказанного, для ннженерной пснхологни представляют интерес не просто погрешиостн оператора и отдельных техннческнх звеньев снстемы, а взаимосвязь этнх погрешиостей, нх результирующая погрешность. Здесь важно бывает выявить, какова, при даиной погрешности оператора н техннческнх звеиьев, вероятность появления такого событня, когда результнрующая погрешность выдержнвання даиного параметра превыснт допустимые пределы.

Рассмотрим решенне такой задачн иа следующем примере. Предположнм, что нзвестны закономерность распределеиия погрешностей нзмернтельного прнбора н закономерность распределения погрешностей его отсчетов оператором. Требуется определнть вероятность событня, когда этн случайиые погрешности образуют совместиую погрешность измерення, превышающую предельно допустнмое значенне.

Остановнмся на случае, когда систематнческне погрешности оператора н прнбора устранены н при измереннн возиикают только случайные погрешностн. Средн этнх погрешиостей для рассматрнваемого прнмера можио выделнть следующие:

$\delta_0$ — мниимальная погрешность, с которой оператор способен воспрннимать прнборную ннформацню в данных условнях;

$\delta_1$ — фактнческая погрешность, с которой восприннмается эта ннформацня для решення задачи (эксплуатационная погрешность отсчетов);

$\delta_2$ — погрешность ннднкаторного прнбора.

Предположнм, что предельно допустимое зиаченне результнрующей погрешностн не должно превышать значенне D.

Между указаннымн погрешностямн обычно существует следующее соотношение:

$$\delta_0<\delta_1<\delta_2<D.$$

Возьмем случай, когда источннком информацнн о данном параметре является стрелочный прибор нли какой-либо другой индикатор непрерывного колнчественного чтення. Пусть контро-

лируемый параметр в данный момент оказался равным значению $a$.

При измерении этого значения стрелка индикатора может занимать любое положение ($a_1, a_2, \ldots, a_n$) в диапазоне погрешностей ($\delta_2$), допустимом техническими условиями для данного прибора. Предположим, что в пределах этого диапазона $\delta_2$ оператор способен идентифицировать n значений измеряемого параметра с минимальной погрешностью $\delta_0$. Число таких значений определяется из соотношения:

$$n = \frac{\delta_2}{\delta_0} + 1.$$

Так, например, если погрешность прибора $\delta_2 = 2°$, а минимальная погрешность его отсчета $\delta_0 = 0{,}5°$, то на участке шкалы в 2° оператор сможет идентифицировать не более 5 значений измеряемого параметра (2 крайние точки диапазона и 3 точки внутри него).

Случайные погрешности отсчетов, как уже отмечалось, часто имеют нормальное распределение. При этом возникает вопрос: относительно каких точек на шкале прибора будут распределяться случайные погрешности отсчетов? Относительно точек, которые оператор способен идентифицировать с наибольшей точностью (т. е. точек, обусловленных мерой дискретности $\delta_0$), или точек, соответствующих эксплуатационным погрешностям отсчетов ($\delta_1$)?

Окулографическими исследованиями закономерностей восприятия операторами шкал стрелочных приборов установлено, что их взгляд вначале скользит по стрелке от центра шкалы к ее концу, после чего совершает движения, связанные с интерполяцией положения стрелки между делениями шкалы. Можно предположить, что требования к точности отсчета сказываются именно на процессе этой интерполяции, проявляющейся в движениях глаз по ту и другую сторону стрелки. Поскольку предельная точность идентификации положения стрелки на шкале соответствует точкам, удаленным между собой на $\delta_0$, то, вероятно, относительно таких точек и будет осуществляться интерполяция положения стрелки. Следовательно, и тогда, когда оператор будет считывать показания прибора с погрешностью $\delta_1$, случайные значения погрешностей отсчетов будут распределяться относительно точек, разделяющих шкалу с мерой дискретности $\delta_0$. Уровень же требований к точности отсчетов, вытекающий из задачи, будет отражаться в основном на рассеянии погрешностей относительно этих точек.

Погрешности приборов по техническим условиям задаются, как правило, в соответствии с оцифровкой или делениями шкалы (это делается и в целях удобства технического контроля приборов). Поэтому границы диапазона $\delta_2$ обычно совпадают с делениями шкалы. Как следует из упомянутых выше исследований механизмов зрительной интерполяции положения стрелки на

шкале прибора, оператор стремится идентифицировать положение стрелки, если возможно, с отметками шкалы или, в худшем случае, с точками, делящими участок между этими отметками на 2, 3, 4, самое большее на 5 частей, в зависимости от перцептивных характеристик шкалы и эксплуатационных требований задачи. Поэтому можно заключить, что точки шкалы, с которыми оператор идентифицирует положение стрелки, обычно либо совпадают с отметками шкалы, либо делят участок между ними на 2, 3, 4 или 5 частей. Величина же $\delta_0$ составляет весь участок между делениями или его часть, соответствующую $1/2$, $1/3$, $1/4$ или $1/5$ этого участка.

На рис. 5.4 *а* на оси абсцисс отложены единицы измерения рассматриваемого выходного параметра в градусах. На интервале шкалы $\delta_2$ (он принят в 2°) выделен ряд участков (в данном случае их 4), равных минимальной погрешности отсчетов $\delta_0$ (в нашем случае 0,5°). Если прибор исправен, то при измерении данного значения параметра его стрелка будет находиться на интервале шкалы $\delta_2$ в любом из множества возможных положений. Однако, как уже указывалось, оператор способен при максимальной точности отсчетов распознавать на этом интервале ограниченное число разных показаний стрелки (на рис. 5.4, *а* их 5).

Когда при данном положении стрелки осуществляется отсчет прибора, его погрешности обычно распределяются по нормальному закону относительно значения, указываемого стрелкой. Поэтому для каждого из пяти выделенных положений стрелки на рис. 5.4, *а* изображены отдельные кривые нормального распределения погрешностей отсчетов, где на оси ординат отложена вероятность появления данной погрешности отсчета. Таким образом, имеем пять кривых распределения погрешностей отсчетов индикаторного прибора, построенных в диапазоне погрешностей самого прибора.

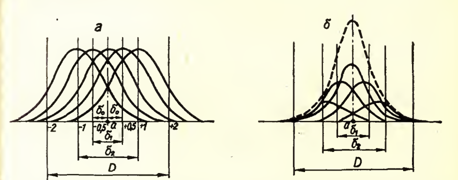



Рис. 5.4. Кривые распределения вероятности погрешностей измерения для пяти дискретных значений параметра: а) при равновероятном распределении погрешностей прибора, б) при нормальном распределении погрешностей прибора.

На рис. 5.4 изображены границы допустимых совместных погрешностей прибора и его отсчета, которые определяются диапазоном D. Вероятность события, когда такая погрешность превысит установленные границы, графически выражается участками кривой нормального распределения, вышедшими за эти границы. Таким образом, для каждого случая погрешности прибора может быть установлена площадь под кривой нормального распределения его отсчетов, определяющая вероятность превышения результирующей погрешностью допустимой границы. Сумма площадей под всеми кривыми, вышедшими за установленные пределы по ту и другую сторону от измеряемого значения, и будет определять ту результирующую общую вероятность, которую требуется найти.

Искомая вероятность превышения результирующей погрешностью измерения и отсчета допустимых пределов может быть описана следующей зависимостью:

$$Q(\delta) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \sum_{i=1}^{n} p_i \int_{x=-\frac{D}{2}}^{x=+\frac{D}{2}} e^{-\frac{(x-a_i)^2}{2\sigma_1^2}} dx, \tag{5.14}$$

где $Q(\delta)$ — вероятность превышения результирующей погрешностью предельно допустимых ограничений;

$a_i$ — i-е дискретное положение стрелки на шкале индикатора в диапазоне погрешностей $\delta_2$;

$\sigma_1$ — среднеквадратическое отклонение погрешностей отсчетов;

$p_i$ — вероятность появления на шкале прибора показания $a_i$.

В проведенном рассмотрении предполагалось, что в диапазоне $\delta_2$ различные значения погрешностей прибора возникают с равной вероятностью $p_i=1$); соответственно этому условию и были построены кривые на рис. 5.5*а*. Практически же погрешности прибора различной величины возникают обычно с разными вероятностями, и часто закон их появления также подчиняется нормальному распределению. Учесть эту закономерность можно графически, пронормировав ординаты кривых распределения погрешностей отсчетов соответственно вероятности появления отдельных погрешностей приборов. В результате такого нормирования получим пять кривых разной высоты, ординаты которых пропорциональны вероятности появления разных погрешностей индикаторного прибора. Подобные кривые вместе с огибающей пунктирной кривой, описывающей распределение погрешностей прибора, представлены на рис. 5.4, *б*.

Рассмотрим приложение формулы (5.14) на примере работы летчика с указателем курса. Оценим вероятность события, когда результирующая погрешность показаний прибора и их отсчетов

превысит допустимые нормы. Решим эту задачу для двух предельно допустимых значений:

$$D=4° \text{ и } D=6°.$$

Примем $\delta_0=0{,}5°$, $\delta_2=2°$.

Погрешности отсчетов указателя курса операторами, как показали эксперименты, имеют нормальное распределение с математическим ожиданием $m_1=0°$ и среднеквадратическим отклонением $\sigma_1=1{,}2°$.

Указанную задачу решим для двух вариантов условий:

а) когда различные значения погрешностей прибора появляются с равной вероятностью;

б) когда погрешности прибора распределены по нормальному закону с $m_2=0°$ и $\sigma_2=0{,}65°$.

Графическая иллюстрация к обоим этим вариантам представлена соответственно на рис. 5.4, *а* и 5.4, *б*.

Результаты расчетов по формуле (5.14) приведены в табл. 7.

Таблица 7

| Предельно допустимая погрешность измерения D | Вероятность превышения допустимой нормы при равновероятных погрешностях индикатора P | Вероятность превышения допустимой нормы при распределении погрешностей индикатора по нормальному закону P′ |
|---|---|---|
| 4° | 0,0720 | 0,0627 |
| 6° | 0,0110 | 0,00894 |

Как следует из табл. 7, при ограничении диапазона $D=4°$ вероятность нарушения работы системы из-за превышения погрешностью допустимых пределов оказывается сравнительно высокой. Расчеты также показывают, что нормальное распределение погрешностей прибора, с точки зрения успешности работы системы, оказывается значительно благоприятнее, чем равновероятное.

В проведенном нами рассмотрении учитывалось влияние на точность измерения только случайных погрешностей оператора и техники. Однако изложенный выше подход оказывается применимым и для совместного учета случайных и систематических погрешностей. Систематические погрешности прибора приведут к некоторому смещению в одну сторону интервала $\delta_2$ относительно истинного значения параметра. При этом по оси абсцисс в ту или другую сторону соответственно сместятся и кривые распределения случайных погрешностей отсчетов. Сам же метод оценки результирующей погрешности не изменится.

### V.5.3. ОГРАНИЧЕНИЯ ПО ТОЧНОСТИ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СЛОЖНОСТИ И ЗНАЧИМОСТИ ЗАДАЧИ

В предшествующем изложении было теоретически обосновано и подтверждено практическими примерами, что с увеличением сложности задач оператора растут и его субъективные оценки вероятности недостижения желаемой цели, что это порождает процесс саморегуляции и как его следствие — состояние психической напряженности. В гл. IV были рассмотрены задачи, сложность которых определялась ограничениями по времени; было показано, что высокий уровень таких ограничений (как и чрезмерно низкий) влечет за собой повышение психической напряженности.

Аналогичная ситуация возникает и в задачах, сложность которых создается за счет ограничений по точности. И здесь, как показывает опыт, высокие и чрезмерно низкие ограничения вызывают у оператора состояние психической напряженности. Высокие ограничения по точности могут быть обусловлены высокими техническими требованиями к качеству разрешения задачи, могут возникать и в результате роста внутренних ограничений оператора (из-за ухудшения его состояния, уменьшения интенсивности сигналов до пороговых значений, увеличения темпа их поступления и других факторов, понижающих его возможности). Стремление к достижению требуемой точности и успешному разрешению подобных задач влечет за собой непроизвольное включение описанных выше механизмов саморегуляции (рис. 2.2), а если это не дает нужного эффекта, то и использование волевой регуляции. В очень простых задачах, где достижение заданной точности не представляет никаких трудностей для оператора, деятельность становится для него малопривлекательной, что способствует понижению активности, расслаблению. Для поддержания в подобных условиях необходимой готовности к разрешению сложных задач с высокими ограничениями по точности (они всегда могут возникнуть из-за отказа техники) оператору приходится за счет волевых усилий сохранять определенный уровень активности, а это достигается ценой психической напряженности.

Таким образом, ограничения по точности, как и по времени, могут служить показателем степени сложности задачи оператора, степени значимости ее для оператора. В гл. IV были приведены экспериментальные данные, показывающие, что резерв времени, присущий данной задаче, может использоваться в целях расчета значимости этой задачи для оператора. Это обстоятельство позволило предположить, что и резерв точности может явиться некоторой мерой степени значимости для оператора возникшей задачи. Для проверки этой гипотезы нами был проведен следующий эксперимент.

Группе хорошо подготовленных летчиков (22 человека) было

предложено оценить (на земле, в условиях учебного класса) ряд типичных навигационных задач по выводу самолета в заданную точку на местности и указать свои возможности по достижению в каждой задаче заданной цели. Задачи отличались условиями выполнения: временем года, временем суток, высотой полета, использованием различных технических средств навигации. Для каждой задачи устанавливались ограничения по точности, в которые требовалось уложиться при ее разрешении. Эксперимент проводился методом экспертных оценок. Каждому испытуемому выдавался бланк с подробным описанием задачи и с таблицей. В первой строке таблицы задавались различные ограничения по точности, в которые требовалось уложиться при решении данной задачи, а во второй против каждого ограничения испытуемый должен был указать вероятность, с которой он считает себя способным выполнить эту задачу.

Для рассматриваемой группы испытуемых по каждой задаче было определено значение минимальной погрешности ($\delta_{min}$), с которой, по их мнению, они способны ее выполнить, и при каждом значении ограничения (D) подсчитывался резерв точности ($\delta_{res}$), на который мог ориентироваться данный испытуемый. После статистической обработки результатов эксперимента по всей совокупности испытуемых представлялось возможным установить зависимость между резервом точности, присущим задаче, и вероятностью недостижения цели как показателем ее значимости для оператора. На рис. 5.5 представлены кривые $C^*(\delta_{res})$, описывающие экспериментально полученную связь между значимостью ($C^*$) задачи и имеющимся в ней резервом точности ($\delta_{res}$). На рис. 5.5 приведены данные по I — наиболее простой задаче и VI — наиболее сложной.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что связь между резервом точности, имеющимся в задаче, и ее значимостью для оператора можно апроксимировать (с вероятностью совпадения $\beta=0{,}95$) экспоненциальной зависимостью:

$$C(\delta_{res}) = e^{-\eta\delta_{res}}, \qquad (5.15)$$

где $C(\delta_{res})$ — значимость задачи как функции резерва точности,

$\eta$ — интенсивность потока событий, равная $\eta = \frac{1}{\bar{\delta}_{res}}$,

$\bar{\delta}_{res}$ — средний резерв точности в рассматриваемых условиях.

Теоретические кривые $C(\delta_{res})$, построенные по формуле (5.15), представлены на рис. 5.5 жирными линиями. По оси абсцисс здесь отмечены средние значения резервов точности для I и VI задачи (соответственно $\bar{\delta}_{res\,I}$ и $\bar{\delta}_{res\,VI}$).

Таким образом, по результатам описанного эксперимента можно заключить, что в деятельности оператора, где основным

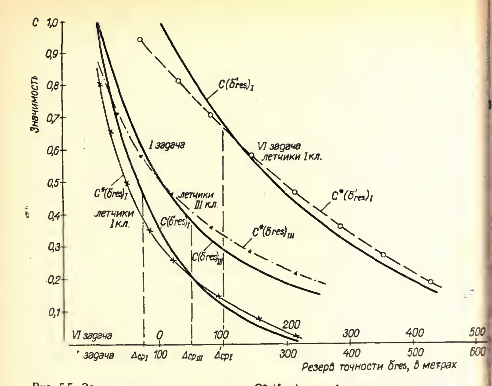



Рис. 5.5. Зависимость значимости задач C* (δres) как функция резерва точности (экспериментальные кривые). Теоретические кривые C(δres), полученные по расчетной формуле (5.15), изображены жирными линиями.

фактором, обусловливающим достижение цели, является соблюдение ограничений по точности, *по показателю резерва точности возможно априорно приближенно оценивать значимость для оператора отдельных задач.*

* * *

На этом закончим рассмотрение показателя точности и перейдем к изучению следующей характеристики — надежности работы оператора и системы.

# Глава VI. Надежность оператора и системы

## VI.1. НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ТЕХНИКИ И ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

### VI.1.1. ПРОБЛЕМА НАДЕЖНОСТИ ОПЕРАТОРА

Показатели своевременности и точности работы характеризуют лишь ее отдельный результат, но еще не отражают, как действует человек-оператор в целом. Более полно деятельность оператора определяется степенью стабильности, с которой выдерживаются эти показатели в различных видах и условиях деятельности, — характеристикой, которую принято называть надежностью работы оператора.

Понятие н а д е ж н о с т ь было перенесено в инженерную психологию из техники, где оно используется для определения *способности устройства сохранять требуемое качество в установленных условиях работы.* Такое определение по своему содержанию и форме оказалось вполне применимым и для оценки деятельности оператора. Это обстоятельство послужило поводом для использования в инженерной психологии как этого понятия, так и многих других положений теории технической надежности для анализа и оценки деятельности оператора и работы системы «человек—машина».

От надежности работы техники, выступающей в этой системе как орудие труда человека, в значительной мере зависят результаты его труда. Неполадки и отказы в работе технических звеньев системы не только непосредственно нарушают это взаимодействие, но, создавая дополнительные трудности в целенаправленной деятельности оператора, влияют на него также психологически, ухудшая тем самым и показатели работы человеческого компонента системы. Поэтому вопросы технической надежности, независимо от применимости этой теории к человеку, уже сами по себе представляют интерес для инженерной психологии. Возможности же использования данной теории для определения надежности работы оператора и выражения этой характеристики в тех же показателях, которые применяются для оценки машины, делают указанную теорию еще более привлекательной для инженерной психологии.

Применением расчетных методов для оценки надежности работы оператора занялись сравнительно недавно, лет десять назад. Изучение же вопросов, связанных с этой проблемой, ведется уже около ста лет. Еще в 80-х годах прошлого века американский инженер Ф. Тейлор анализировал взаимодействие человека с техникой с целью изыскания приемов труда, способов его организации, методов стимулирования, которые позволили бы повысить

его надежность и эффективность. Выдающийся русский физиолог И. М. Сеченов на рубеже XX века проводил разнообразные исследования психофизиологических факторов труда, направленные на оптимизацию его условий и повышение надежности работы человека. Центральный институт труда начиная с первых лет Советской власти более 15 лет разрабатывал пути использования достижений в области физиологии, психологии, экономики, организации труда в целях повышения эффективности и надежности работы человека.

Проблема надежности человека, может быть не совсем в том виде, в каком она рассматривается сейчас, давно изучается в экспериментальной психологии. В классических опытах по исследованию показателей времени реагирования, измерению объема памяти, работоспособности человека и пр., наряду с другими показателями, оценивались и характеристики стабильности получаемых результатов во времени, т. е. фактически надежность выполнения испытуемыми заданных функций. С началом развития инженерной психологии в эту область были перенесены многие методы и средства экспериментальной психологии, в том числе и методы определения надежности выполнения оператором отдельных действий (считывания показаний приборов, сенсомоторных, двигательных актов и пр.).

О целесообразности создания некоторой обобщенной характеристики надежности работы человека-оператора, которая распространялась бы на всю его деятельность, заговорили только в 1960-х годах. Одним из первых на эту проблему указал В. Д. Небылицын[1], который предложил оценивать надежность оператора по комплексу его внутренних свойств, обусловливающих *способность* оператора сохранять на заданном уровне показатели труда и *поддерживать требуемые рабочие качества в условиях существенного усложнения деятельности.* Подобный комплекс внутренних свойств, создающих *потенциальную* способность организма к надежной работе, впоследствии стали называть базовой надежностью человека, в отличие от прагматической надежности, проявляющейся в *реальных* условиях деятельности.

В. Д. Небылицын считал, что надежность человека-оператора в общем случае обусловлена тремя основными факторами:

— степенью инженерно-психологической согласованности техники с психофизиологическими возможностями оператора для решения возникающих у него задач;

— уровнем обученности и тренированности оператора при выполнении этих задач;

— его физиологическими данными, в частности особенностями нервной системы, состоянием здоровья, порогами чувствительности, а также психологическими особенностями его личности.

[1] Небылицын В. Д. Надежность работы оператора в сложной системе управления. — В кн.: Инженерная психология. М., 1964, с. 358—367.

Таким образом, автор рассматривал надежность оператора не только как функцию его индивидуальных физиологических и психологических качеств, но и как функцию возникающих у него задач и технических условий, в которых они разрешаются.

В последнее десятилетие в изучении проблемы надежности оператора наметилось направление исследований, основной целью которых была разработка методов априорной количественной оценки надежности оператора на основе технических характеристик решаемых им задач и технических условий его деятельности. Среди исследований этого плана следует выделить работы А. И. Губинского, Ю. Г. Фокина и В. И. Николаева, представленные в трудах I, II, III и IV Всесоюзных симпозиумов (1967—1975) по надежности систем «человек—техника». В этих и других работах, обсуждаемых на названных симпозиумах, предлагались способы расчетов прагматической надежности оператора, основанные главным образом на методах теории технической надежности.

Таким образом, вопросы технической надежности и ее теории по ряду причин представляют интерес для инженерной психологии и заслуживают хотя бы краткого обсуждения в настоящем курсе.

### VI.1.2. НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ

Надежность технических устройств или их элементов может оцениваться как качественно, так и количественно. Первое — качественное определение надежности как свойства технического устройства или системы выполнять заданные функции с требуемым качеством в установленных условиях использования уже упоминалось выше. К этому определению можно только добавить, что под требуемыми качествами функционирования здесь понимается выдерживание показателей работы устройства (его рабочих параметров) в тех пределах, которые соответствуют заданному режиму и условиям его работы.

Количественно надежность выражается вероятностью $p(t)$ безотказной работы устройства в данных условиях эксплуатации в течение установленного промежутка времени. Математически этот показатель можно определить как вероятность события, при котором время $T$ безотказной работы устройства, являющееся случайной величиной, будет больше некоторого заданного времени $t$:

$$p(t) = P(T > t). \qquad (6.1)$$

О т к а з о м *технического устройства называется утрата таких его свойств, без которых устройство не может выполнять возложенные на него функции.* Поскольку указанное событие всегда сопровождается отклонением выходных параметров системы

(фактически и определяющих ее назначение) за допустимые пределы, то в качестве определения отказа технической системы можно использовать также событие превышения ее выходными параметрами установленных технических ограничений.

Вероятность отказа $q(t)$, т. е. события, противоположного событию безотказной работы, определяется:

$$q(t)=1-p(t). \qquad (6.2)$$

Вполне очевидно, что с увеличением времени работы устройства вероятность его отказа непрерывно возрастает, т. е. при любом $t_2>t_1$

$$q(t_2)>q(t_1).$$

Отсюда следует, что $q(t)$ — неубывающая функция времени. Очевидно, при $t=0$ (т. е. пока устройство еще не работало), вероятность отказа устройства $q(t)=0$, а при $t=\infty$ (когда оно проработало бесконечно большое время) $q(t)$ стремится к единице, т. е. вероятность отказа становится достоверным событием.

Из практических соображений важно определить, как изменяется функция $q(t)$ с течением времени при изменении $t$ в пределах $0<t<\infty$. Это можно решить экспериментально, если сразу после выпуска из производства одновременно включить в эксплуатацию $N_0$ устройств и с течением времени фиксировать число их отказов. Такие испытания неоднократно проделывались, и на их основании была выявлена следующая закономерность (рис. 6.1). В первый период эксплуатации вероятность отказов быстро растет — сказываются недостатки производства, не выявленные при выпуске продукции. В этот период, который продолжается от десятков до сотен часов, идет приработка устройства.

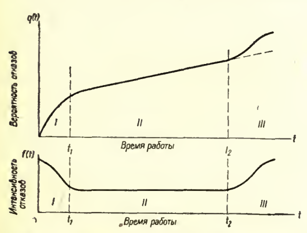



**Рис. 6.1.** Изменение вероятности отказов технических устройств $q(t)$ и интенсивности отказов $f(t)$ со временем эксплуатации.

После окончания приработки (с момента $t_1$) рост функции $q(t)$ стабилизируется. Однако ее кривая $q(t)$ несколько возрастает, так как по мере отказов отдельных устройств убывает число устройств, оставшихся в эксплуатации, отчего показатель вероятности их отказов увеличивается. Этот наиболее длительный период продолжается сотни и тысячи часов.

С момента $t_2$ наступает третий период, когда начинает сказываться износ деталей, старение материала — здесь вероятность отказов уже растет значительно быстрее, чем во втором периоде. Для практики важно выявить наступление третьего периода, чтобы начать замену устройств на новые.

Верхняя кривая $q(t)$ (рис. 6.1.) характеризует изменение вероятности отказов системы (как бы их накопление) и называется интегральным законом распределения.

Продифференцировав функцию $q(t)$, можно получить плотность распределения времени безотказной работы (дифференциальный закон):

$$\frac{dq(t)}{dt} = f(t). \tag{6.3}$$

Эта закономерность представлена нижней кривой (рис. 6.1).

Заметим, что вероятность отказа человека-оператора за продолжительное время непрерывной работы (смену, дежурство, вахту и т. п.) определяется закономерностью, сходной с описанной. Здесь в период его вхождения в работу тоже обнаруживается рост вероятности отказа. Во второй, наиболее продолжительной фазе — фазе устойчивой работоспособности — вероятность отказа стабилизируется. В третьей фазе за счет развития утомления вероятность отказа оператора со временем резко возрастает.

Вероятность безотказной работы технического устройства для любого момента времени эксплуатации $t$ практически рассчитывается по статистическим данным:

$$p^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \tag{6.4}$$

где $N_0$ — число контролируемых устройств;
$n(t)$ — число отказавших устройств к моменту $t$;
$p^*(t)$ — вероятность безотказной работы устройства за время $t$, полученная по статистическим данным.

Формула (6.4) позволяет давать оценки надежности устройств лишь после их испытания, т. е. апостериорно. Возникает вопрос: нельзя ли найти зависимость, по которой можно было бы заранее рассчитывать вероятность безотказной работы устройства за время $t$? Такая приближенная зависимость может быть выведена.

Существует понятие интенсивность отказов как от-

ношение числа отказавших устройств в единицу времени к среднему числу устройств, работающих в этот период безотказно:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t)}{N_u(t) \cdot \Delta t}, \qquad (6.5)$$

где $\lambda(t)$ — интенсивность отказов;
$\Delta n(t)$ — число устройств, отказавших за время $\Delta t$;
$N_u(t)$ — число устройств, проработавших время $\Delta t$.

Очевидно, за период времени $dt$ приращение числа отказавших устройств составит $dn$ и интенсивность отказов определится:

$$\lambda(t) = \frac{dn}{N_u(t)\,dt}. \qquad (6.6)$$

За время $\Delta t$ из имеющихся $N_0$ устройств выйдет из строя в среднем $\Delta n$ устройств. Умножив число действующих устройств ($N_0$) на приращение вероятности их отказов, можно определить количество устройств, отказавших за это время:

$$N_0[q(t+\Delta t) - q(t)] = \Delta n.$$

Умножим и поделим последнее выражение на $\Delta t$ и возьмем предел при $\Delta t \to 0$:

$$N_0 \lim_{\Delta t \to 0} \frac{q(t+\Delta t) - q(t)}{\Delta t} \Delta t = N_0 q'(t)\,dt = dn. \qquad (6.7)$$

С другой стороны, чтобы найти число устройств, которое останется исправным к моменту $t$, нужно умножить $N_0$ на вероятность безотказной работы:

$$N_0 \cdot p(t) = N_u(t). \qquad (6.8)$$

Подставив в формулу (6.6) значения $dn$ из (6.7) и $N_u(t)$ из (6.8), получим:

$$\lambda(t) = \frac{N_0 \cdot q'(t) \cdot dt}{N_0 \cdot p(t) \cdot dt} = \frac{q'(t)}{p(t)}. \qquad (6.9)$$

Производные от вероятностей с учетом (6.2) составят:

$$q'(t) = -p'(t). \qquad (6.10)$$

Подставляя значение $q'(t)$ из (6.10) в (6.9), находим:

$$\lambda(t) = -\frac{p'(t)}{p(t)} = -\frac{1}{p(t)} \frac{dp(t)}{dt}. \qquad (6.11)$$

Заменим в последней формуле (6.11) переменную на $\tau$. Тогда получим:

$$\lambda(\tau)\,d\tau = -\frac{dp(\tau)}{p(\tau)}. \qquad (6.12)$$

Проинтегрируем (6.12) в пределах [0, t]:

$$\int_0^t \lambda(\tau)\,d\tau = -\int_0^t \frac{dp(\tau)}{p(\tau)} = -\ln p\ (\tau)\,.$$

В соответствии с определением логарифма последнее равенство можно записать в виде:

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau)d\tau}. \qquad (6.13)$$

Полученная формула (6.13) называется *общим законом надежности*, который применяется для подсчетов и прогнозирования надежности во многих практических случаях. Как следует из формулы (6.13), характер изменения вероятности безотказной работы устройства по времени при принятых допущениях зависит только от характера изменения во времени интенсивности отказов.

Для многих практических случаев, в частности для второго периода интегрального распределения (рис. 6.1), можно считать, что интенсивность случайных отказов устройств остается во время эксплуатации неизменной:

$\lambda(\tau) = \text{const}.$

В этом случае формула (6.13) приобретает вид:

$$p(t) = e^{-\lambda t}. \qquad (6.14)$$

Данная закономерность (6.14) получила название *экспоненциального закона надежности*. Зная значение интенсивности ($\lambda$) случайных отказов устройства в данных условиях эксплуатации, с помощью этого закона можно непосредственно подсчитывать вероятность его безотказной работы за тот или иной период времени. (Заметим, что формула технической надежности иногда определяется и другими показательными законами, но в их основе обычно лежит характеристика интенсивности отказов.)

Рассмотрим применение экспоненциального закона для оценки надежности системы, включающей в себя ряд технических устройств. Структурную схему любой системы можно обычно привести к схеме, состоящей из n последовательных звеньев. Если вероятность работы этих звеньев составит соответственно $p_1(t), p_2(t), \ldots, p_n(t)$ и отказы отдельных звеньев возникнут независимо, то вероятность $P_s(t)$ безотказной работы системы определится произведением:

$$P_s(t) = p_1(t) \cdot p_2(t) \cdot \ldots p_n(t) = e^{-(\lambda_1+\lambda_2+\ldots+\lambda_n)t}, \qquad (6.15)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_n$ — интенсивности отказов соответственно 1, 2, ..., n звеньев.

Экспоненциальный закон надежности имеет один значительный недостаток. Сущность его вскрывается из следующих рассуждений.

Вероятность безотказной работы устройства за промежуток $\Delta t$ от $t_0$ до $t=t_0+\Delta t$ согласно формуле (6.14) будет:

$$p(t_0+\Delta t) = e^{-\lambda(t_0+\Delta t)} = e^{-\lambda t_0} \cdot e^{-\lambda \Delta t} = p(t_0)\,p(\Delta t). \qquad (6.16)$$

С другой стороны, согласно теореме умножения вероятностей, получаем, что вероятность безотказной работы за время $(t_0+\Delta t)$ равна произведению вероятности $p(t_0)$ и условной вероятности $p(\Delta t\,|\,t_0)$:

$$p(t_0+\Delta t) = p(t_0) \cdot p(\Delta t\,|\,t_0). \qquad (6.17)$$

Сравнивая соотношения (6.16) и (6.17), получаем:

$$p(\Delta t) = p(\Delta t\,|\,t_0).$$

Таким образом, условная вероятность — вероятность безотказной работы устройства за $\Delta t$, с учетом того, что это устройство ранее уже проработало время $t_0$, — оказалась равной безусловной вероятности безотказной работы устройства за время $\Delta t$. Иначе говоря, при экспоненциальном законе предполагается, что вероятность безотказной работы за данный промежуток времени не зависит от того, сколько времени до этого работало устройство. Вероятность отказа устройства до момента $t_0$ и после него зависит только от случайных факторов, определяющих характеристику $\lambda$. Увеличение же вероятности отказа техники за счет ее постепенного износа в формулах (6.13 и 6.14) не учитывается. Однако, несмотря на этот очевидный недостаток, экспоненциальный закон широко применяется на практике, поскольку, как показывает опыт, он достаточно хорошо описывает вероятность внезапных случайных отказов.

Наряду с понятием отказа, в технической надежности используется также понятие неисправности устройства. Неисправностью называется *событие, заключающееся в отклонении от нормы таких характеристик устройства, которые существенно не отражаются на его работоспособности.* Заметим, что событие неисправности следует всегда констатировать, исходя из решаемой задачи, поскольку параметр, несущественный в одной задаче, может оказаться весьма существенным в другой. В технике используется также понятие сбой — *нарушение работы системы под влиянием помех.* Сбои не связаны с изменением внутреннего состояния устройства и после устранения помех также ликвидируются.

Задачей теории технической надежности является не только

разработка методов оценки надежности технических устройств, но и изыскание путей повышения их надежности. Современные сложные технические устройства состоят из большого числа звеньев и их элементов. Согласно (6.15), с увеличением числа последовательных звеньев общая надежность системы понижается. Поэтому одним из основных способов повышения надежности сложных систем является повышение надежности их отдельных звеньев и элементов. Однако увеличение надежности элементов обычно связано с большими техническими трудностями. Поэтому этот вопрос решается и иным путем: разрабатывают такие схемы соединения элементов, которые позволяют достигать надежной работы системы при ограниченной надежности ее составляющих. Примером подобных схем является дублирование устройств, где, в случае выхода из строя одного устройства, автоматически или вручную включается резервное. Существуют и другие пути повышения надежности работы техники: создание самонастраивающихся систем, способных противостоять внешним возмущающим факторам (в том числе и отказам отдельных элементов), рациональное профилактическое обслуживание, прогнозирование отказов отдельных устройств и их своевременная замена и др.

### VI.1.3. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ К ЧЕЛОВЕКУ-ОПЕРАТОРУ

В основе теории технической надежности лежат методы оценки случайных процессов, нарушающих работу технических устройств. Подобный подход оказывается применим и к оценке деятельности оператора, поскольку она особенно подвержена воздействию множества случайных факторов, которые влияют также на работу машины и на взаимодействие с ней оператора. Поэтому зависимости и формулы, выведенные в теории технической надежности, оказываются в принципе применимыми и к оценке надежности оператора. Некоторые понятия этой теории фактически уже перенесены непосредственно на оператора: работоспособность — способность к выполнению задач в условиях помех, напряженность — мера энергетического режима действия и пр.

Однако имеется целый ряд факторов, препятствующих переносу на человека положений теории технической надежности. Выделим основные из них.

Во-первых, в теории надежности исходят из предпосылки, что машину можно представить в виде системы, состоящей из дискретных элементов, каждый из которых может находиться либо в рабочем состоянии, либо в состоянии отказа. Выделить такие элементы, даже условно, в непрерывной психофизической деятельности человека чрезвычайно сложно. К тому же у человека

между состоянием высокой работоспособности и состоянием отказа имеется много переходных состояний, которыми зачастую также нельзя пренебрегать.

Во-вторых, теория надежности предполагает, что элементы системы работают и отказывают независимо друг от друга. В человеческом же организме подобные элементы находятся в тесной взаимосвязи и под центральным управлением.

В-третьих, человек в процессе деятельности выступает (это было показано выше) как саморегулируемая система, способная решать сложные задачи так же хорошо, как и простые. В технических же устройствах с усложнением задачи в ее решении обычно участвует большее число элементов, связей, что, согласно (6.15), понижает ее надежность.

Таким образом, существует немало причин, препятствующих прямому переносу положений теории технической надежности на человека, которые необходимо принимать во внимание при использовании этой теории в инженерной психологии, где она имеет довольно большое применение.

При оценке надежности оператора требуется прежде всего определить, что понимается под отказом оператора. По аналогии с определением отказа технических устройств в инженерной психологии **отказ человека-оператора** рассматривается как *невыполнение им предписанных действий или снижение качества их выполнения за пределы, необходимые для достижения цели.* Если отказ технического устройства квалифицировался только по отклонению его выходных параметров за установленные границы (безотносительно к влиянию этого события на выходные параметры системы), то отказ оператора непременно будет связан с отклонением за допустимые пределы выходных характеристик системы, — характеристик, за которые он ответствен и которые определяют достижение цели деятельности.

В указанном определении отказ человека-оператора квалифицируется по его конечным результатам. Это обстоятельство имеет здесь принципиальное значение, поскольку человек располагает большими компенсаторными возможностями, позволяющими ему своевременно приостанавливать и исправлять неправильные действия, а также предотвращать их отрицательное влияние на систему.

Из теории технической надежности было заимствовано и определение надежности оператора. **Надежность человека-оператора** — *свойство, характеризующее его способность безотказно действовать в течение определенного интервала времени при заданных условиях.*

*Отказы оператора* иногда подразделяют следующим образом:

— *активные* и *пассивные* (первые связывают с неправильным опознанием сигналов, неправильным выполнением действий и пр., вторые — с ошибками памяти, внимания и пр.),

— *внезапные* и *постепенные* (отказ возникает скачкообразно или в результате постепенного накопления сдвигов),

— *явные* и *неявные* (проявляются сразу или впоследствии).

Поскольку отказы человека-оператора можно рассматривать как его крупные ошибки, ведущие к прекращению деятельности, то к ним следует подходить с теми же критериями, которые используются при анализе ошибок. В частности, для разграничения и анализа отказов оператора в полной мере применима приведенная в гл. V классификация ошибок.

Для оценки и прогнозирования надежности оператора обычно используются показатели интенсивности ($\lambda$) отказов и вероятности безотказной работы $p(t)$, определяемые по формулам (6.5) и (6.14) (здесь $\Delta n$ расценивается как число отказов оператора, проявляющееся в $N_0$ опытах).

В качестве показателя надежности оператора, выполняющего однотипные действия, часто используется характеристика среднего времени безотказной работы ($T_p$). Если одновременно работает $m$ операторов и оператор $i$ за время $t_i$ допускает $k_i$ отказов, то средняя статистическая частота его отказов $f_i^*(t)$ составит:

$$f_i^*(t) = \frac{k_i}{t_i}.$$

В таком случае время $\Delta t_i$ между отказами оператора $i$ будет равно

$$\Delta t_i = \frac{1}{f_i^*(t)},$$

а среднее время безотказной работы для всех $m$ операторов, осуществляющих однотипные действия, определится из следующей зависимости:

$$T_p = \sum_{i=1}^{m} \frac{1}{m} \cdot \frac{1}{f_i^*(t)} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \frac{t_i}{k_i}. \quad (6.18)$$

Для оператора, выполняющего разнообразные функции, и отказы, очевидно, могут быть весьма разнообразными. В подобных случаях указанная формула (6.18) может использоваться для обобщенной оценки времени безотказной работы оператора, без детализации характера проявления отказов. Однако большой интерес для инженерной психологии представляют данные об однотипных отказах или отказах, присущих определенным операциям. В таких случаях используются статистические данные о частоте появления отказов именно этого типа или именно в этой операции, по которым находятся соответствующие показатели среднего времени безотказной работы оператора по отношению к данному типу нарушений.

В настоящее время разработан ряд конкретных практических методов прогнозирования прагматической надежности работы оператора в системе.

*Структурный метод оценки надежности* выполнения оператором заданной деятельности был предложен А. И. Губинским [2]. Сущность его заключается в следующем. Управляющая деятельность оператора разлагается на иерархический ряд уровней, каждый из которых представляется в виде определенной структуры. Так, высший — оперативный уровень рассматривается в виде структуры решаемых задач. Последующий уровень анализируется в виде структуры отдельной задачи и алгоритма ее решения. Затем следует уровень, на котором анализируются блоки операций, входящие в алгоритм решения. Подобное дробление деятельности оператора происходит вплоть до самого низкого уровня — отдельных психофизиологических актов. Последние рассматриваются как оперативные единицы деятельности.

На основе числовых характеристик отдельных оперативных единиц можно произвести расчет вероятности своевременного и безошибочного выполнения оператором отдельных типичных блоков операций, отдельных задач и всей деятельности. Для расчета надежности работы оператора здесь используются методы теории технической надежности и теории массового обслуживания.

*Метод статистического эталона,* позволяющий прогнозировать надежность работы оператора, был разработан Ю. Г. Фокиным [3]. Как и структурный метод, он основан на определении совокупности показателей вероятности своевременного и безошибочного выполнения оператором отдельных операций. Достоинство этого метода заключается в том, что в нем в большей мере, чем в структурном, учитываются особенности и условия выполняемой деятельности. Деятельность оператора здесь анализируется на т. н. «статистическом эталоне» — условной аппаратуре, где отражены не только конструкция, размещение и другие особенности оборудования рабочего места, но и типы выполняемых оператором действий, их последовательность. При таком подходе представляется возможным анализировать не просто отдельные действия оператора, но и взаимосвязь этих действий, а также оценивать сложность этой взаимосвязи. На основе подобного анализа определяются статистические показатели деятельности, и по ним рассчитывается надежность выполнения оператором рассматриваемой задачи — вначале со статистическим эталоном,

---

[2] Губннский А. И. Надежность комплексиых систем «человек—техника». — Материалы II Всесоюзиого снмпозиума по иадежности комплексных снстем «человек—техника». Ч. 2 и 3. Л., 1969, с. 59—61.

[3] Фокии Ю. Г. Сравнительный аиализ методов количествеииой оценки иадежиостн и эффективиости снстем «человек—техника». [Препрнит доклада]. М., 1971. 25 с.

а затем, с учетом поправок, и надежность его работы в реальных условиях.

Существуют и другие методы оценки надежности работы оператора, в которых, кроме того, учитывается напряженность его работы, совмещение отдельных операций, но все они также базируются на использовании статистических показателей своевременности и безошибочности действий.

## VI.2. ВЛИЯНИЕ ОПЕРАТОРА НА НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ

### VI.2.1. ОПЕРАТОР КАК КОМПОНЕНТ СИСТЕМЫ, СПОСОБСТВУЮЩИЙ ПОВЫШЕНИЮ ЕЕ НАДЕЖНОСТИ

Между надежностью оператора и технических устройств в системе «человек—машина» существует довольно сложное взаимное влияние, которое можно представить схематически (рис. 6.2).

Как машина, так и оператор могут каждый в отдельности отказывать и выводить из строя систему (рис. 6.2,*а*). С другой стороны, машина, из-за ее несовершенства, может провоцировать отказы оператора. Человек в свою очередь тоже может при управлении машиной вызывать в ней отказы (рис. 6.2,*б*).

(а)
Отказ человека ведет к отказу системы
Ч — М = С
Отказ машины ведет к отказу системы
Ч — М = С

(б)
Человек нарушает работу машины, что ведет к отказу системы.
Ч — М = С
Машина провоцирует отказ человека, что ведет к отказу системы
Ч — М = С

(в)
При отказе машины человек предупреждает отказ системы
человек парирует отказ
Ч — М = С
При отказе человека машина предупреждает отказ системы
машина парирует отказ
Ч — М = С

Рис. 6.2. Варианты влияния человека и машины на надежность системы. Обозначения: Ч — человек, М — машина, С — система.

Однако, как уже отмечалось, человек способен и благотворно влиять на надежность системы: он может обнаруживать и устранять отказы машины, в случае их возникновения; может, даже при отдельных поломках машины, удерживать выходные параметры системы в заданных пределах и не допускать при этом ее полного отказа. Существуют и машины, способные в процессе работы системы контролировать состояние и управляющие действия оператора, способные отфильтровывать его ошибки, в случае нарушения нормальной жизнедеятельности оператора, автоматически резервировать его и таким образом предупреждать отказ системы (рис. 6.2,*в*). Исходя из принципа взаимного дополнения и резервирования, при конструировании систем «человек—машина» специально предусматривают подобные способы повышения надежности работы системы. Однако и в тех случаях, когда специальные технические средства резервирования не предусмотрены, уже само участие человека с его большими приспособительными и творческими возможностями в системе управления способствует повышению ее надежности.

Из опыта работы операторов различных профилей, в том числе летчиков и космонавтов, известно, что большинство отказов технических устройств, проявляющихся в процессе управления, они своевременно обнаруживают и предупреждают их отрицательное влияние на результаты работы системы. Подтверждением этому могут служить приведенные А. Чапанисом[4] харак-

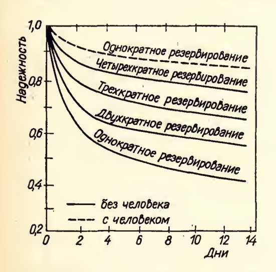



Рис. 6.3. Сравнение надежности работы навигационной системы с использованием различных степеней технического резервирования и использованием человека в качестве резерва (по Гродски).

[4] Чапанис А. О распределении функций между людьми и машинами. — В кн.: Инженерно-психологическое проектирование, вып. 1. М., 1970, с. 166.

теристики надежности работы навигационной системы при различных вариантах резервирования (рис. 6.3). Из представленных здесь кривых следует, что при однократном резервировании технических устройств человеком надежность навигационной системы оказывается выше, чем при использовании четырехкратного технического резервирования.

Теперь специально остановимся на некоторых возможностях количественного учета положительного влияния оператора на общую надежность системы «человека—машина». Для этого должны приниматься во внимание также возможности оператора по обнаружению и парированию отдельных устройств системы.

Предположим, что в системе «человек—машина» действует n последовательных независимых технических звеньев. Вероятность выхода из строя системы ($\bar{s}_i$) из-за отказа звена i можно определить по формуле полной вероятности как сумму вероятностей, благоприятствующих этому событию:

$$\bar{s}_i = \bar{p}_i r_i + \bar{p}_i r_i \bar{f}_i, \qquad (6.19)$$

где $\bar{p}_i$ — вероятность отказа звена i за время $t_0$;

$r_i$ — условная вероятность своевременного обнаружения оператором отказа звена i в случае его возникновения;

$\bar{r}_i$ — условная вероятность несвоевременного обнаружения оператором отказа звена i в случае его возникновения;

$\bar{f}_i$ — условная вероятность несвоевременного устранения оператором отказа звена i в случае его возникновения и своевременного обнаружения.

Выражение (6.19) справедливо при условии независимости вероятностей $\bar{p}_i$, $\bar{r}_i$, $\bar{f}_i$. Обратное событие — вероятность безотказной работы системы ($s_i$) в связи с действием звена i — будет:

$$s_i = 1 - [\bar{p}_i \bar{r}_i + \bar{p}_i r_i \bar{f}_i]. \qquad (6.20)$$

Предположим, что в рассматриваемой системе оператор способен парировать отказы, возникающие в k звеньях. В этом случае общая надежность системы ($P_s$), с учетом надежности оператора ($p_0$), определится произведением:

$$P_s = p_0 \prod_{i=1}^{k} [1 - (\bar{p}_i \bar{r}_i - \bar{p}_i r_i \bar{f}_i)] \cdot \prod_{i=k+1}^{n} p_i. \qquad (6.21)$$

Из формулы (6.21) следует, что общая надежность системы оказывается обусловленной как надежностью ее отдельных звеньев, так и возможностями оператора по обнаружению и парированию их отказов в процессе управления. Поэтому при расчете надежности системы «человек—машина», наряду с оценками вероятности безотказной работы технических звеньев, нужны сведения о закономерностях обнаружения и парирования оператором отказов отдельных устройств.

В настоящее время повышеиие иадежности систем «человек—машииа» осуществляется в осиовиом за счет увеличеиия вероятности безотказиой работы техиических устройств и обеспечеиия более иадежиой работы оператора. Но, как уже отмечалось, существует и *другой путь повышения надежности — создание для оператора условий, способствующих лучшему обнаружению и парированию отказов как можно большего числа звеньев.* Такой путь в ряде случаев оказывается более простым и экономически более выгодиым.

Представляется возможным количествеино оцеиить вклад оператора в обеспечеиие иадежиой работы системы «человек—машина». Это можно сделать посредством следующего соотношения:

$$\alpha = \frac{P_s - P}{P} = \frac{\prod_{i=1}^{k} [1 - (\bar{p}_i \bar{r}_i + \bar{p}_i r_i \bar{f}_i)]}{\prod_{i=1}^{k} p_i} - 1, \tag{6.22}$$

где $\alpha$ — коэффициент, определяющий вклад оператора в обеспечение общей иадежиости системы;

$P$ — общая надежиость системы, включая оператора ($p_0$), без учета его положительиого влияния иа надежность системы, которая определяется следующим образом:

$$P = p_0 \cdot p_1 \cdot p_2 \cdot \ldots \cdot p_n = p_0 \prod_{i=1}^{n} p_i. \tag{6.23}$$

Если предположить, что оператор хорошо обучеи и после обнаружения безусловно устраняет все парируемые отказы системы, т. е. во всех звеиьях $\bar{f} = 0$, то выражеиие (6.22) упрощается и принимает вид:

$$\alpha = \frac{\prod_{i=1}^{k} [1 - \bar{p}_i \bar{r}_i]}{\prod_{i=1}^{k} p_i} - 1. \tag{6.24}$$

Из (6.24) следует, что в случае своевременного обиаружения оператором всех парируемых отказов ($\bar{r} = 0$) $\alpha$ будет максимальным и равным:

$$\alpha = \frac{1 - \prod_{i=1}^{k} p_i}{\prod_{i=1}^{k} p_i}.$$

Напротив, если оператор ие в состояиии компеисировать отказы системы (во всех k звеиьях $\bar{r} = 1$), то $\alpha = 0$. Таким образом, коэффициент $\alpha$ может измеияться в пределах:

$$0 \leqslant \alpha \leqslant \frac{1-\prod_{i=1}^{k} p_i}{\prod_{i=1}^{k} p_i}.$$

Покажем на практическом примере приложение формул (6.21) и (6.22). Оценим надежность системы ручного управления самолетом по крену. Представим рассматриваемую систему в виде структурной схемы, состоящей из цепочки последовательных звеньев (рис. 6.4). Над каждым звеном на рисунке указано значение его надежности: $p_0$, $p_1$, $p_2$, $p_3$ и $p_4$. Общая надежность системы, без учета возможностей оператора устранять и парировать отказы отдельных звеньев, в этом случае, согласно (6.23), будет

$$P = p_0 \cdot p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4. \qquad (6.25)$$

Поскольку органы управления, элероны и другие элементы конструкции самолета отказывают крайне редко, то для расчета можно приближенно принять $p_1 = p_2 = p_3 = 1$. Контрольные приборы обычно менее надежны. Условно примем для авиагоризонта $p_4 = 0{,}8$. Надежность летчика при пилотировании самолетом по крену пусть будет $p_0 = 0{,}999$. Тогда, согласно (6.25), общая надежность системы при принятых условиях составит $P = 0{,}799$, т. е. будет довольно низкой.

Однако можно предположить, что в действительности, благодаря способности летчиков своевременно обнаруживать отказы авиагоризонта, она окажется существенно выше. Для проверки этого предположения нами был поставлен следующий летный эксперимент (1963 г.)[5]. В условиях реального полета на тяжелом пассажирском самолете незаметно для летчика вво-

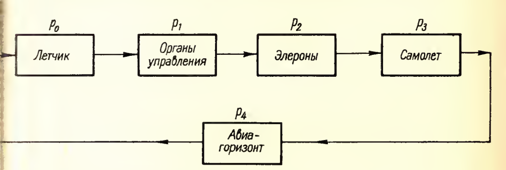



Рис. 6.4. Структурная схема ручного управления самолетом по крену.

[5] Более подробно он описан в нашей статье «Когда на помощь приходит прибор-дублер» («Авиация и космонавтика», 1968, № 2, с. 68—71).

дился отказ авиагоризонта (создавались ложные показания по крену с ошибкой в 10—15°). При этом с помощью киноаппарата фиксировались показатели режима полета и деятельность летчика (в том числе и движения глаз) по обнаружению отказа прибора и предупреждению отказа системы.

Эксперимент показал, что обнаружение подобных неявных отказов индикатора представляет для летчиков существенные трудности. Летчик привык верить показаниям пилотажных приборов, и если имеющиеся показания возможны в данном режиме полета и нет оснований сомневаться в исправности индикаторов, то он руководствуется этими показаниями при управлении самолетом. Так в большинстве случаев и действовали испытуемые летчики: управляя самолетом по ложным показаниям отказавшего прибора, летчики вначале нарушали заданный режим полета, затем обнаруживали отказ прибора по показаниям других индикаторов или необычному поведению самолета, после чего переходили на пилотирование по резервным приборам и восстанавливали заданный режим полета. Условная вероятность своевременного необнаружения отказа в эксперименте получилась примерно $\bar{r}_0 \approx 0{,}692$. Учитывая по опыту, что из всех отказов авиагоризонта около половины, как правило, составляют явные, т. е. вполне очевидные для летчика (индекс указателя обычно поворачивается на 180°), получаем исправленное значение $\bar{r}'_0$:

$$\bar{r}'_0 = 0{,}5\bar{r}_0 = 0{,}346.$$

Эксперимент показал, что во всех случаях после обнаружения отказа авиагоризонта летчики переходили на пилотирование по резервному прибору. Поэтому вероятность непарирования отказа после его обнаружения можно считать равной $\bar{f} = 0$. Исходя из этих данных, по (6.21) находим общую надежность системы:

$$P_s = 0{,}999\,(1 - 0{,}2 \cdot 0{,}346) = 0{,}928.$$

Итак, получаем, что, благодаря деятельности человека по обнаружению и парированию отказов, надежность рассматриваемой системы управления возросла от 0,799 до 0,928.

Для достижения более высокой надежности системы следовало бы в принципе повысить надежность авиагоризонта. Однако практическое решение этого вопроса оказывается довольно сложным и связанным с высокими материальными затратами.

Данный вопрос можно было решить, как уже отмечалось, и другим путем — более полно использовать творческие возможности человека в системе управления, т. е. ввести более эффективную сигнализацию об отказе прибора и тем самым создать для летчика более благоприятные условия для обнаружения отказа. Следует отметить, что *сам по себе отказ индикаторного прибора не нарушает работу системы. Ее нарушает оператор, управляющий системой по неисправному прибору.* Своевременный сиг-

нал об отказе прибора может в таком случае предотвратить подобные нарушения в работе системы и повысить ее общую надежность.

Для подтверждения высказанного положения был проведен другой летный эксперимент. На том же самолете была установлена световая сигнализация об отказе авиагоризонта. Она включалась при появлении разницы в показаниях основного и резервного авиагоризонта более 5°, свидетельствующей об отказе одного из этих приборов. Какой из авиагоризонтов отказал, должен был решить летчик на основании соотнесения показаний этих индикаторов с показаниями других пилотажных приборов. В эксперименте фиксировались действия испытуемых по обнаружению отказавшего прибора и параметры режима полета.

Опыты показали, что при наличии специальной сигнализации об отказе авиагоризонта (даже и несовершенной, т. е. не указывающей на то, какой именно прибор дает ложные показания) отказавший авиагоризонт во всех опытах обнаруживался за несколько секунд и при отказе прибора режим полета не нарушался. В этом случае вероятность своевременного обнаружения отказа прибора составила $r = 1$, а общая надежность рассматриваемой системы, согласно (6.21), возросла до $P_s' = 0{,}999$.

Применим формулу (6.24) для оценки «вклада» оператора в обеспечение надежности системы в двух рассматриваемых случаях — при отсутствии сигнализации об отказе прибора ($\alpha_1$) и при ее наличии ($\alpha_2$).

$$\alpha_1 = \frac{P_s - P}{P} = 0{,}16; \qquad \alpha_2 = \frac{P_s' - P}{P} = 0{,}25.$$

Итак, находим, что *благодаря дополнительной сигнализации об отказе прибора в рассматриваемом* примере *удалось увеличить «вклад» оператора в надежность системы* от 16 до 25%, что дает общее повышение надежности от $P_s = 0{,}928$ до $P_s' = 0{,}999$.

Деятельность летчиков по поддержанию заданного режима полета в случае отказов технических устройств позднее изучалась Н. Д. Заваловой и В. А. Пономаренко [6]. Авторы, используя описанную выше методику, провели ряд экспериментов по исследованию возможностей летчиков своевременно обнаруживать и парировать отказы авиагоризонта и некоторых других пилотажных приборов, а также устройств управления самолетом. Результаты их экспериментов совпали с описанными. Они показали, что летчики располагают широкими возможностями по поддержанию надежной работы системы при отказах отдельных самолетных устройств. Эти возможности в значительной мере зависят от структуры деятельности летчика, которая, в свою очередь, опре-

[6] Методы инженерно-психологических исследований в авиации. М., 1975. 280 с.

деляется заданным режимом управления. Так, например, было установлено, что при использовании автоматического управления (когда нагрузка летчика не столь велика) его возможности по обнаружению и парированию отказов технических устройств существенно ниже, чем при пилотировании самолетом вручную.

### VI.2.2. НАДЕЖНОСТЬ ОПЕРАТОРА И ТЕХНИКИ ОТНОСИТЕЛЬНО ОПАСНЫХ НАРУШЕНИЙ

Характеристика надежности оператора или технического устройства показывает, в какой мере человек и техника способны работать без отказов. Примечательной особенностью этого показателя является тот факт, что он полностью *игнорирует содержательную сторону отказа,* фиксируя только вероятность события появления или непоявления отказа. Поэтому характеристика надежности оказывается применимой к любому устройству, к оценке любого вида деятельности, независимо от выполняемой функции и тех последствий, к которым ведет отказ.

Подобная универсальность понятия надежности, достигнутая за счет пренебрежения его содержанием и весьма ценная при использовании в технике, применительно к человеку оборачивается существенным недостатком. Для человека важен не столько сам факт возникновения в системе отказа, сколько его значение, а главное, значение тех последствий для системы, которые влечет за собой этот отказ. Так, например, если летчик сообщает на землю, что на самолете возник отказ, то такая информация с точки зрения руководителя полетов является столь неопределенной, что фактически ничего ему не дает. Здесь важна содержательная сторона отказа. Если на самолете вышел из строя резервный пилотажный прибор (это уже считается отказом системы), то такое событие не представляет опасности для полета и указывает лишь на то, что потребуется некоторый ремонт. Если же на самолете отказало рулевое управление и он стал неуправляем, то это событие оказывается чрезвычайно значимым как для летчика, так и для людей на земле, осознавших его смысл. Точно так же и отказ оператора в одном случае может вести только к временному прекращению работы системы, а в другом — к самым тяжелым последствиям, вплоть до гибели людей.

Все эти примеры показывают, что *в инженерной психологии надежность работы оператора или технического устройства следует расценивать не только по вероятности невыполнения возложенных функций*, как это обычно делается в теории технической надежности, *но и по вероятности появления* в связи с данным отказом оператора или технического устройства *определенной категории последствий.*

Подобные оценки были получены нами следующим образом. Все отрицательные последствия, которые могут возникнуть в ре-

зультате отказа оператора при выполнении им i-го действия, можно разбить на категории: А, В, ..., К. Наступление каждой категории последствий из-за события отказа ($Q_i$) оператора при выполнении действия i определится следующими условными вероятностями:

$$P(A|Q_i), P(B|Q_i), \ldots, P(K|Q_i),$$

где $P(A|Q_i)$, $P(B|Q_i), \ldots, P(K|Q_i)$ — условные вероятности появления соответственно последствий А, В, ..., К вследствие отказа оператора в действии i.

Если, например, вести речь о последствиях отказа летчика пассажирского самолета, то здесь можно выделить следующие основные категории возможных последствий:

А — нарушение безопасности полетов,
В — срыв воздушного рейса,
С — длительный ремонт техники и снижение ее готовности,
D — текущий (кратковременный) ремонт техники.

Вероятность возникновения последствий каждой категории зависит от многих факторов: места, где произошел отказ, возможностей летчика вовремя его заметить и парировать, наличия средств резервирования, защиты и т. д. Для совместного учета влияния перечисленных факторов на появление указанных категорий последствий строится следующая логическая схема (рис. 6.5). Посредством этой схемы можно оценить полную вероятность появления каждой категории последствий отказа оператора при выполнении данного действия.

При этом учитываются следующие факторы:

$q$ — вероятность отказа оператора при выполнении данного действия;
$\beta$ — вероятность появления этого события в воздухе;
$\gamma$ — вероятность связи данного отказа только с последствием С ($\gamma_1$), или одновременно с последствиями В и С ($\gamma_2$), или только с последствием В ($\gamma_3$);
$\alpha$ — вероятность отсутствия связи события (Q) с опасным отклонением параметров режима полета;
$\mu$ — вероятность автоматического парирования нарушения режима полета, вызванного отказом;
$\nu$ — вероятность парирования оператором возникшего нарушения с требуемой точностью;
$\xi$ — вероятность своевременного парирования оператором возникшего нарушения;
$\varphi$ — вероятность появления совместно с последствием А сопутствующих ему последствий С и В ($\varphi_1$), или только последствия В ($\varphi_2$), или С ($\varphi_3$).

На рис. 6.5 каждый логический элемент схемы изображен символически в виде контактов реле. Для двухполюсных реле вероятности появления рассматриваемых событий отмечены на

схеме, они определяют перебрасывание их подвижного контакта в нижнее положение. Для трехполюсных реле вероятности проявления каждого из трех взаимоисключающих событий показаны около соответствующих контактов.

Посредством указанной схемы методами математической логики можно оценить условную вероятность появления каждой из названных категорий последствий данного отказа оператора. Последствие каждой категории может наступить при таком стечении факторов, при котором изображенные на схеме реле «свяжут» событие отказа (Q) с этими последствиями.

Условная вероятность появления последствия А данного отказа оператора определяется:

$$P(A|Q)q = \beta(1-\alpha)\ (1-\mu)\ [(1-\nu)+\nu\ (1-\xi)]q. \quad (6.26)$$

Аналогичным образом по той же логической схеме могут быть определены условные вероятности появления при данном отказе соответственно последствий В, С и D:

$$P(B|Q)q = \{(1-\beta)\ (\gamma_2+\gamma_3)+\beta[(1-\alpha)(1-\mu)(1-\nu) + (1-\alpha)\ (1-\mu)\ \nu\ (1-\xi)](\varphi_1+\varphi_2)\}\ q;$$
$$P(C|Q)\ q = \{(1-\beta)(\gamma_2+\gamma_1) + \beta[(1-\alpha)(1-\mu)(1-\nu) + (1-\alpha)(1-\mu)\ \nu\ (1-\xi)](\varphi_1+\varphi_3)\}\ q;$$
$$P(D|Q)\ q = q. \quad (6.26')$$

Необходимые для расчетов по формуле (6.26) показатели определяются на основе статистических данных по практическому применению рассматриваемой системы или их прогнозирования.

Изложенный и отображенный в схеме (рис. 6.5) подход, а также полученные по ней формулы (6.26) могут быть использованы и для определения последствий отказа самолетного устройства. В таком случае событие $Q_i$ рассматривается как отказ данного i-го устройства и используются отдельные условные вероятности, показывающие в целом возможность наступления каждой из категории последствий. Таким образом, *представляется возможным расценивать отдельные действия оператора, а также отдельные технические устройства как потенциальные носители различной тяжести последствий.* Иначе говоря, подобным методом оценивается надежность оператора или технического устройства по отношению к определенным последствиям нарушения их работы. Так можно оценить, например, надежность данного управляющего действия или надежность конкретного самолетного устройства по отношению к безопасности полетов.

Практический опыт показывает, что иногда для повышения надежности устройств по отношению к безопасности полетов приходится включать в схему дополнительные последовательные элементы, т. е. преднамеренно несколько снижать обычную надеж-

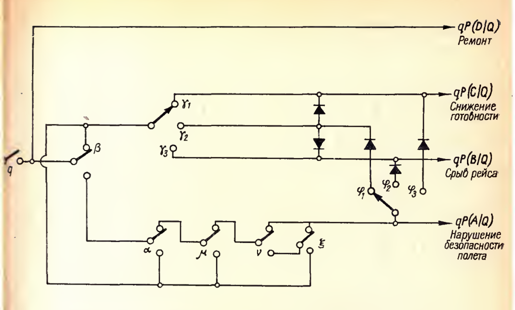



Рис. 6.5. Логическая схема для оценки вероятности появления различных последствий отказов оператора или технического устройства.

ность системы[7]. Количественные оценки надежности устройств по отношению к появлению опасных нарушений еще не нашли широкого применения, хотя в практической деятельности оператора они имеют большое значение. С накоплением опыта операторы обычно сами интуитивно, может быть до конца и не осознавая этого, приходят к подобным оценкам и руководствуются ими в практической деятельности. Так, например, опытный шофер, проверяя автомобиль перед выездом, значительно большее внимание уделяет проверке тормозов или рулевого управления, чем работе мотора, хотя последний отказывает значительно чаще. На основе опыта он осознает, что по отношению к тяжелому дорожному происшествию тормоза и рулевое управление обладают меньшей надежностью, чем мотор, ибо их отказы хотя и имеют не очень высокую вероятность, но очень опасны. Однако далеко не всегда надежность технических устройств по отношению к тяжелым последствиям выражается так очевидно. Поэтому изложенный выше подход имеет большое прикладное значение для различения действий оператора, а также отдельных устройств и количественного определения их влияния на результаты работы системы.

[7] Такой случай описан в нашей статье «Парадокс теории надежности» («Авиация и космонавтика», 1969, № 7, с. 28—29).

## VI.3. САМОРЕГУЛЯЦИЯ И НАДЕЖНОСТЬ ОПЕРАТОРА

### VI.3.1. ВНЕШНЯЯ И ВНУТРЕННЯЯ РЕГУЛЯЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

При управлении системой оператор использует самые разнообразные возможности для выдерживания заданной программы ее функционирования. В случае возникновения отказов он стремится вовремя обнаружить и устранить их и, если возможно, взять на себя функции отказавшего устройства. Когда отказ не удается устранить, оператор пытается снизить тяжесть последствий этого отказа. Таким образом, все действия оператора в системе управления (предусмотренные программой, приспособительные к создавшейся ситуации, а порой и творческие) оказываются устремленными на достижение заданных целей соответственно мотивам деятельности.

Подобная деятельность, заключающаяся во внешнем принудительном воздействии на систему с целью выдерживания заданной программы ее функционирования, уже по этому определению является деятельностью регулирования, причем в рассматриваемом случае это регулирование, по сравнению с традиционным, оказывается более разносторонним с точки зрения использования средств и методов воздействия на управляемую систему. Однако регулирующие воздействия оператора этим не ограничиваются. В данном параграфе будет показано, что ради достижения заданных целей оператор не только воздействует на технические звенья системы, но и соответственно перестраивает собственную внутреннюю организацию, изменяет поведение и таким образом более полно использует свои функциональные резервы. Именно второй аспект деятельности — ее саморегуляция — и является объектом рассмотрения в данном параграфе. В гл. II было показано, что саморегуляция приводит к некоторому расширению возможностей человека по разрешению возникшей задачи, что она строится на основе самооценки собственной надежности по разрешению подобных задач в прошлом. Таким образом, *надежность деятельности оказывается не только показателем ее результативности, но и фактором, предопределяющим ее организацию.* На рис. 2.2 была представлена схема саморегуляции, которая связывает факторы, порождающие энергетическую активацию организма, со значимостью решаемых задач. В настоящем параграфе будут приведены экспериментальные данные, позволяющие произвести анализ указанной схемы и выявить некоторые ее существенные особенности. Очевидно, наиболее объективными средствами для такого анализа могут явиться количественные данные, отражающие описанные в схеме связи.

Показатели, необходимые для описания указанных связей,

уже были рассмотрены в предшествующем изложении. Так, задача оператора может быть определена количественно через показатели резерва времени ($t_{res}$) и резерва точности ($\delta_{res}$), которыми он в ней располагает. Результативность прошлой деятельности определяется показателем надежности (Р). Уровень эмоциональной реакции оператора на возникшую задачу — ее значимость (С) — может быть подсчитана на основе величин $t_{res}$ и $\delta_{res}$ по формулам (4.20 и 5.15). Уровень энергетической активации оператора, возникшей в организме в связи с решаемой задачей, можно также количественно оценить по комплексу его вегетативных реакций (по частоте пульса, изменению электрического сопротивления кожи, показателям дыхания и пр.). Таким образом, все составляющие рассматриваемой на рис. 2.2 схемы саморегуляции для данных конкретных условий эксперимента возможно выразить количественно. Изменяя степень трудности задачи оператора, можно проследить, как при этом будут изменяться значения этих составляющих, их взаимосвязь, т. е. проследить динамику действия указанной схемы.

## VI.3.2. ПРОЦЕСС САМОРЕГУЛЯЦИИ И ЕГО ОСОБЕННОСТИ

Проследим действие процесса саморегуляции и его особенности на основе материалов конкретного экспериментального исследования [8]. Исследование проводилось на специально изготовленной установке, позволяющей имитировать отдельные задачи оператора и фиксировать интересующие нас показатели его работы и жизнедеятельности в процессе разрешения этих задач. Сущность эксперимента заключалась в следующем. Испытуемым предлагалось осуществлять деятельность, состоящую из ряда последовательных действий различной трудности. Степень трудности действия устанавливалась путем введения соответствующих ограничений времени их выполнения. Так, отдельные значимые действия требовалось выполнять за 0,8—0,9 с — за очень короткое время по сравнению с тем временем, которое давалось на выполнение остальных аналогичных (фоновых) действий (3 с).

Перед проведением экспериментов испытуемые (опыты проводились с летчиками) убеждались, насколько легко своевременно реагировать на фоновый сигнал и насколько сложно — на срочный. Далее им сообщалась очередность предъявления фоновых и срочных сигналов, в связи с чем они имели возможность заранее формировать план действий предстоящей деятельности и на его основе организовывать свое поведение в ходе эксперимента. Высокая мотивация, специально созданная у испытуемых

[8] Эти материалы более подробно изложены в нашей книге «Саморегуляция и надежность человека-оператора» (Таллин, 1974. 167 с.).

к выполнению заданной им деятельности, и большие временные ограничения, наложенные на выполнение отдельных действий, делали эти действия для них весьма значимыми. Эксперименты показали, что у испытуемых складывалось различное отношение к фоновым действиям, которые выполнялись легко и надежно, и к значимым действиям, где достижение цели представляло трудности для оператора и у него не было полной уверенности в успехе. Уже чисто внешнее наблюдение за поведением испытуемых показывало, что перед выполнением значимого действия (в ожидании сигнала к такому действию) у них создавалась предварительная готовность, которая выражалась в напряженности позы, подготовке руки и т. п. Перед фоновым действием такой готовности не наблюдалось. О наличии мобилизации к выполнению значимых действий свидетельствовали и физиологические показатели — учащение пульса, понижение сопротивления кожи, нарушение обычного ритма дыхания, по сравнению с аналогичными показателями, имевшими место перед выполнением фоновых действий. Так, частота пульса перед выполнением значимого действия была существенно выше, чем перед выполнением фонового (достоверность различия $\beta = 0,995$). Более того, было обнаружено также различие в частоте пульса перед своевременной и запоздалой реакцией на значимый сигнал (достоверность различия $\beta = 0,8$). Таким образом, если испытуемый перед выполнением значимого действия должным образом не мобилизовал себя, то вероятность опоздания с реакцией на это действие была явно более высокой.

В эксперименте испытуемые решали несколько серий задач, которые отличались сложностью выбора ответной реакции на срочный сигнал и уровнем временны́х ограничений, в которые нужно было уложиться с ответным действием (от 0,8 до 2 с). По всем опытам представлялось возможным оценить $t_{res}$, которым располагал каждый испытуемый при выполнении отдельных значимых действий, и по этим данным, посредством формулы (4.20), оценить значимость (С) для него этих действий. Было установлено, что в условиях рассматриваемого эксперимента действия становились значимыми для испытуемых при требовании выполнения задачи за 1 с и менее.

Таким образом, при обработке результатов рассматриваемого эксперимента *стало возможным количественное соотнесение показателя значимости* (С) *действия, полученной надежности* (Р) *его выполнения и уровня возникшей при этом активации* (А) *испытуемого* (последняя определялась по относительному приращению пульса).

На рис. 6.6 представлены кривые, построенные по всей совокупности опытов и показывающие, как с изменением значимости действий изменяется надежность их выполнения /Р(С)/, а также связанная с ними активация /А(С)/. По первой кривой можно заключить, что, пока значимость действий не превышала $C = 0,3$,

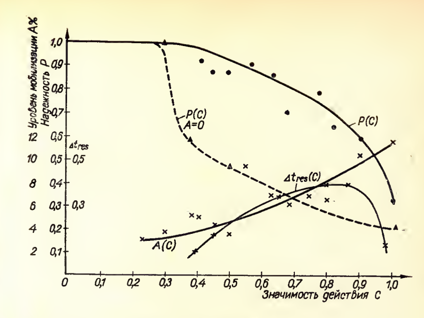



Рис. 6.6. Характеристики изменения показателей деятельности операторов в зависимости от значимости выполняемого действия:
Р(С) — зависимость надежности от значимости действия при наличии предварительной активации;
$P_{A=0}$ (С) — зависимость надежности от значимости действия при отсутствии предварительной активации;
А(С) — зависимость уровня активации от значимости действия;
$\Delta t_{res}(C)$ — зависимость приращения резервного времени от значимости.

испытуемые могли выполнять их с одинаково высокой надежностью. При дальнейшем усложнении задач и повышении их значимости надежность работы испытуемых вначале медленно, а затем все быстрее понижалась. Из второй кривой А(С) следует, что по мере увеличения значимости задач испытуемые при их разрешении должны были все более активизироваться.

Для определения влияния предварительной произвольной (волевой) активации на результаты действий в опытах практиковалось неожиданное (вне плана) предъявление значимых сигналов, когда испытуемым приходилось реагировать на них без специальной подготовки. По полученным данным была построена кривая $P_{A=0}(C)$ (на рис. 6.6 она изображена пунктиром). Из этой кривой следует, что, пока значимость задач не превышала С=0,3, испытуемые могли успешно действовать и без предварительной произвольной активации. Ее отсутствие начинало сказываться на надежности работы испытуемых только тогда, когда значимость задач превышала указанный рубежный уровень.

Отсюда может быть сделано следующее заключение: *пока значимость задач не превышала рубежного уровня (в описанном эксперименте* С=0,3*), испытуемые могли справляться со значи-*

*мыми задачами за счет непроизвольной активации; когда же значимость задач начала превышать этот рубеж и показатели надежности испытуемых стали понижаться, они использовали произвольную активацию, уровень которой был тем выше, чем более значимой была задача.* Примечательно, что в наиболее сложных задачах, значимость которых составляла $C > 0{,}8—0{,}9$, быстрому снижению надежности работы испытуемых уже не могли противодействовать даже самые высокие уровни активации.

Таким образом, благодаря мобилизации внутренних ресурсов, вначале непроизвольной, а затем волевой, испытуемые были способны, по мере роста значимости задач, поддерживать заданную надежность, а когда это становилось невозможным — противодействовать вначале существенно, а потом уже слабо ее снижению. Таким образом, экспериментальные данные позволили и количественно подтвердить действие описанной выше схемы саморегуляции (рис. 2.2).

Из результатов рассматриваемого эксперимента вытекают и другие теоретически и практически важные заключения. Так, было установлено, что *с превышением значимостью задачи рубежного уровня* (для условий нашего эксперимента $C = 0{,}3$) *происходит резкий сдвиг в условиях деятельности.* Например, пока на решение задач данного вида давалось время 1,2 с и более, испытуемые могли, не прибегая к высокой активации, разрешать значимые задачи так же надежно, как и фоновые. Когда же временны́е ограничения в этих задачах были увеличены всего на 0,1—0,3 с и доведены до уровня 1,0—0,9 с, надежность их разрешения существенно снизилась и выполнение их уже потребовало повышенной психической напряженности.

Этот результат является подтверждением положения, высказанного Г. М. Зараковским и В. И. Медведевым о том, что «человек способен поддерживать трудовую деятельность на необходимом уровне» и что такая «устойчивость является свойством, обладающим резко выраженной дискретностью, т. е. переход с одного уровня устойчивости на другой совершается скачком»[9]. Отсюда следует важный практический вывод. *Если в аварийной ситуации специальный автомат на какое-то короткое время* (в нашем примере — на десятые доли секунды) *удержит параметры системы в заданных пределах и благодаря этому снизит уровень временны́х ограничений ниже рубежного значения, то оператор сможет с высокой надежностью и без особой психической напряженности справиться с подобной аварийной ситуацией.*

Экспериментальное исследование показало, что *благодаря саморегуляции происходит некоторое смещение «демаркационной*

---

[9] Зараковский Г. М., Медведев В. И. Психофизиологический аспект исследования и оценки эффективности систем «человек—машина». [Препринт доклада на III Всесоюзном симпозиуме по надежности и эффективности комплексных систем «человек—техника»]. Л., 1971. 15 с.

*линии» внутренних ограничений и за счет этого — расширение резервов и возможностей* оператора. Это положение может быть количественно подтверждено следующими данными. На основе кривых $P(C)$ и $P_{A=0}(C)$, а также связи показателя значимости $(C)$ с $t_{res}$ было подсчитано приращение резервного времени $(\Delta t_{res})$, которое создается благодаря энергетической мобилизации испытуемых. Подсчитав приращение резервного времени для задач различного уровня значимости, можно было построить зависимость $\Delta t_{res}(C)$, которая представлена на рис. 6.6. Из этой зависимости следует, что в задачах средней и высокой значимости (при $C = 0{,}7$—$0{,}9$) испытуемые развивали активацию, которая по своему действию была адекватна такому снижению внутренних временны́х ограничений оператора, которое дает прирост резервного времени на $\Delta t_{res} = 0{,}35$—$0{,}4$ с.

### VI.3.3. ВЛИЯНИЕ ТИПОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОПЕРАТОРА НА ПРОЦЕСС САМОРЕГУЛЯЦИИ

Надежность работы оператора, особенно при разрешении сложных задач, существенно зависит от свойств его нервной системы. Как показали исследования В. С. Мерлина и Л. А. Копытовой [10], К. М. Гуревича и В. Ф. Матвеева [11] и др., надежность оператора в наибольшей мере зависит от показателей силы его нервной системы и тревожности. Авторы приводят конкретные примеры, когда в аварийной или просто сложной ситуации у операторов энергосистемы или у наладчиков станков, отличающихся слабостью нервной системы по возбуждению или же тревожностью, происходила дезорганизация деятельности.

Влияние указанных особенностей нервной системы можно проследить и на примере результатов рассматриваемого эксперимента. Однако перед тем как перейти к обсуждению этих результатов, следует дать некоторые пояснения.

В специальных сериях описанных выше опытов, для повышения значимости отдельных действий, наряду с их жесткими временны́ми ограничениями, вводилось болевое наказание — удар током за опоздание с реакцией. В таких опытах надежность работы испытуемых в среднем оказалась выше, чем в аналогичных опытах без наказаний. Болевое наказание особенно повышало надежность работы испытуемых в самых простых задачах; в более сложных, а следовательно, и более значимых задачах эффект от наказания был меньшим и в самых сложных вообще отсутствовал.

Полученные результаты хорошо согласуются с известными в

---

[10] Копытова Л. А. Индивидуальный стиль трудовой деятельности наладчиков в зависимости от силы нервной системы по возбуждению. — «Вопросы психологии», № 1, 1964, с. 25—33.

[11] Гуревич К. М. Профессиональная пригодность и основные свойства нервной системы. М., 1970, с. 186—216.

психофизиологии данными о соотношении активации и продуктивности деятельности. Ещё в начале нашего века Р. Иеркс (R. Ierkes) и И. Додсон (I. Dodson) установили, что зависимость продуктивности деятельности от сопутствующей ей активации может быть описана инвертированной V-образной кривой (рис. 6.7). На основе этой кривой легко объяснить результаты описанных опытов. Более простым задачам, для решения которых не требуется высокая активация, соответствует исходная рабочая точка на нижнем крутом участке левой ветви кривой. Здесь прирост активации, вызванный болевым наказанием (ударом током), создает большое увеличение надежности и вытекающей из нее продуктивности. В то же время в сложных задачах, которые сами по себе уже требовали большой предварительной активации, исходная рабочая точка будет находиться на более высоком и пологом участке левой ветви кривой. При этом такое же приращение активации (за счет болевого наказания) уже дает незначительный прирост надежности и продуктивности.

Примечательно, что в рассматриваемых опытах болевое наказание особенно значительно повысило надежность решения простых задач у испытуемых, отличавшихся более высокой тревожностью. При решении же сложных задач с угрозой болевого наказания надежнее действовали те испытуемые, которые отличались меньшей тревожностью. Этот результат также хорошо согласуется с закономерностью Иеркса—Додсона. Как известно, тревожность способствует завышению активации. Поэтому уже в сравнительно несложных задачах у людей, склонных к тревожности, проявляется высокая активация и их исходная рабочая точка оказывается в средней, наиболее крутой части левой ветви кривой (рис. 6.7), где дополнительная активация за счет болевого наказания дает большой эффект. Когда же возникают задачи средней сложности, исходная рабочая точка у людей такого типа оказывается уже в верхней, пологой части кривой, где дополнительная активация почти не создает приращения надежности.

В описанных опытах мы имели дело с летчиками — людьми, отобранными по признаку силы нервной системы. Поэтому для сравнения влияния показателя силы нервной системы на надежность те же опыты были проведены с группой студентов, специально отобраных по показателю наименьшей силы нервной системы по возбуждению. У испытуемых этой группы обнаружилась очень высокая активация даже при решении сравнительно несложных задач. Введение же болевого наказания здесь приводило к резкому снижению надежности работы всех испытуемых. Очевидно, опасение получить удар током настолько повышало и без того высокую у них активацию, что она стала превосходить критическое значение ($A_{кр}$), которое соответствует вершине кривой Иеркса—Додсона (рис. 6.7). При этом, согласно указанному закону, происходит переход на правую ветвь кривой,

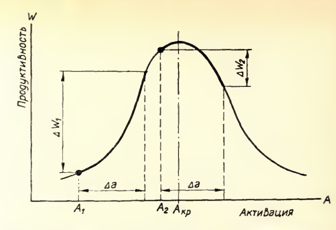



Рис. 6.7. Зависимость продуктивности деятельности от уровня активации (инвертированная V-образная кривая Иеркса-Додсона). $А_{кр}$ — критическое значение активации.

где увеличение активации уже ведет к понижению продуктивности (надежности) работы. Следовательно, *у людей, отличающихся слабостью нервной системы, повышенной тревожностью, возникновение задач высокой значимости может повлечь за собой понижение надежности их работы.* Когда люди с подобными качествами решают сложные задачи, их нецелесообразно дополнительно активизировать; здесь полезнее, напротив, использовать средства, снижающие их активацию.

Все эти факты свидетельствуют о том, что описанная в гл. II *схема саморегуляции (рис. 2.2) справедлива только в ограниченных пределах, пока уровень активации организма не превышает критического значения* ($А_{кр}$), *после чего происходит как бы «переключение» этой схемы с отрицательной на положительную обратную связь.* При этом с понижением надежности работы, а следовательно, и с повышением значимости задачи будет происходить рост активации, который уже не способствует ее разрешению, а, напротив, понижает возможности оператора и еще более снижает его надежность. Последнее, в свою очередь, еще более увеличивает активацию, еще более ухудшает результаты деятельности и так далее, вплоть до ее срыва. Физиологически здесь проявляется так называемое явление **гипермобилизации**, при котором нарушается равновесие процессов возбуждения и торможения в центральной нервной системе, что ведет к дезорганизации деятельности. Оно может выражаться в форме чрезмерной суетливости, активности или, наоборот, в скованности, заторможенности.

Итак, для *надежной работы оператора необходимо, чтобы в его деятельности не было задач, значимость которых порождала бы активацию, превышающую критическое значение* ($А_{кр}$).

## VI.4. ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ОПЕРАТОРА

### VI.4.1. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ОПЕРАТОРА И ЕГО НАДЕЖНОСТЬ

В проблеме надежности можно выделить два общих подхода — макро- и микроподход. Первый направлен на изучение фактических выходных показателей надежности оператора, безотносительно к обусловливающим их внутренним (психофизиологическим) факторам. При втором — микроподходе стремятся выявить внутренние факторы, предпосылки, на которых базируется способность человека к безотказной работе. Макроподход направлен на выявление *прагматической надежности* и количественное выражение этого показателя — прогнозирование надежности на основе статистических данных. Микроподход устремлен на определение *базовой надежности* оператора, на выявление факторов, лежащих в ее основе, и выгоден тем, что позволяет не только прогнозировать надежность (здесь уже исходя из индивидуальных данных оператора), но и изыскивать пути для ее повышения.

В предшествующих параграфах настоящей главы шла речь в основном о прагматической надежности оператора. В этом параграфе основное внимание будет уделено базовой надежности и отчасти ее связи с прагматической.

Прежде всего следует отметить, что о базовой надежности нельзя говорить вообще, не связывая ее с определенным кругом задач, в которых она проявляется. Показателем потенциальных возможностей оператора она служит лишь применительно к определенным видам деятельности. Из описанной выше классификации систем «человек—машина» и классификации отказов оператора видно, сколь разнообразна операторская деятельность. В одних системах (например, игровых недетерминированных, таких, как «человек—автомобиль») человек непрерывно, в условиях жестких ограничений по времени и точности, решает цепь разнообразных задач и вынужден действовать активно, энергично. В других системах деятельность оператора в основном сводится к функциям наблюдения и контроля (например, оператор у пульта энергосистемы), в них сигналы к действию возникают довольно редко и работа оказывается однообразной, малоподвижной, монотонной. Если в игровых системах трудности в операторской деятельности обусловлены необходимостью выполнения большого объема действий, то в системах, где функции оператора сводятся главным образом к наблюдению, трудности порождаются отсутствием достаточной информации, длительным бездействием оператора и необходимостью в таких условиях за счет волевой регуляции сохранять высокий уровень бодрствования и произвольного внимания. Существуют категории систем, в

которых основная трудность операторской деятельности заключается в объединении разнородной информации и создании представлений о состоянии и динамике изменения управляемого объекта (например, авиационный или железнодорожный диспетчер). Можно указать системы, в которых наиболее сложным является сенсомоторная координация (оператор прицельной станции), системы, где наибольшие трудности представляют логические операции (управление навигационной системой) и т. д.

Каждая из названных категорий систем предъявляет свои особые требования к отдельным качествам оператора (причем требования весьма различные), обусловливающим его базовую надежность в том или ином виде деятельности. Однако если даже ограничиться рассмотрением одной определенной категории систем, то и здесь очень нелегко указать те качества оператора, которые обеспечивали бы во всех случаях его надежную работу, поскольку в различных задачах успех определяют разные качества.

Исходя из особенностей операторской деятельности, Е. А. Милерян[12] выделяет следующие четыре режима работы:

— учебно-тренировочный, при котором практические задачи решаются условно и у оператора отсутствует ответственность, присущая реальным условиям работы;

— минимальный режим, связанный с решением наиболее простых задач в наиболее благоприятных условиях при невысокой цене ошибки и невысоких требованиях к различным психическим сферам оператора;

— оптимальный режим — наиболее типичный для работы оператора, отличающийся большой продолжительностью, широким использованием различных навыков и умений, высокой продуктивностью деятельности, которая обычно достигается за счет непроизвольной саморегуляции;

— экстремальный режим возникает в случае существенного усложнения задач (за счет значительного роста ограничений, или появления опасности и большой цены ошибки, или сильно ощутимого ухудшения условий деятельности оператора, его состояния и т. п.), когда оператор без произвольной высокой внутренней мобилизации и широкого использования внутренних резервов уже не может удовлетворительно выполнять возложенные на него функции.

В реальных условиях оператору обычно приходится переходить с одного режима работы на другой. Минимальный режим, по мере усложнения задач, переходит в оптимальный. При усложнении оптимального режима до такого уровня, при котором решение задач начинает требовать усиленной произвольной саморегуляции и связанной с ней повышенной напряженности,

[12] Милерян Е. А. Эмоционально-волевые компоненты надежности оператора. — В кн.: Очерки психологии труда. М., 1974, с. 32—34.

возникает экстремальный режим работы [13]. Для того чтобы работа оператора в каждом отдельном режиме была надежной, от него требуются определенные индивидуальные качества. Так, например, в учебно-тренировочном режиме его надежность оказывается в значительной мере обусловлена мотивационной сферой — стремлением действовать при учебном режиме так же хорошо, как в реальных условиях работы. При минимальном режиме малая загрузка, меньшая цена ошибки способствуют расслаблению оператора, снижению интереса к деятельности и уровня его внимания. Вследствие пониженной активности у оператора, работающего в этом режиме, порой могут появляться ошибки в самых простых действиях, а при возникновении аварийной ситуации — большие задержки с ответными реакциями. Поэтому базовая надежность оператора в минимальном режиме определяется его способностью противостоять действию этих расслабляющих и дезорганизующих факторов.

При оптимальном режиме работы базовая надежность оказывается зависящей уже от совершенно иных качеств оператора: от наличия профессиональных навыков, волевых данных, эмоциональной устойчивости, мотивации. Здесь важным становится фактор интереса к работе, поскольку без него трудно длительное время, не напрягаясь, сохранять требуемую трудовую активность.

В экстремальном режиме, возникающем при значительных отклонениях от оптимальных значений самых различных характеристик деятельности, у оператора обычно появляются задачи высокой степени трудности. Эти трудности могут иметь самое разнообразное происхождение. Они могут возникнуть из-за аварии в связи с неполной информацией о сложившейся ситуации, отсутствием стандартных способов действий, опасностью тяжелых последствий. Они проявляются и при исправной работе системы, когда возникают задачи с такими ограничениями, в которые крайне трудно уложиться. Экстремальный режим может возникнуть и в обычных спокойных условиях работы в результате развития утомления или же не очень длительной, но монотонной работы. Чтобы надежно действовать во всех этих ситуациях, оператор должен обладать весьма разнообразными качествами.

Если объединить и сопоставить все требования, предъявляемые оператору хотя бы одной определенной системы, используемой в различных режимах, то они окажутся не только весьма разнообразными, но отчасти и противоречивыми. Так, например,

[13] В. М. Марищук называет переходиый режим между оптимальиым и экстремальным режнмамн «параэкстремальным», а крайне предельно переиоснмые формы экстремальиого режима, угрожающие жизии оператора, — «паратермииальиыми». См.: Марищук В. М. Об устойчивости психологических процессов н о различных функциоиальиых состояииях в экстремальиых условнях. — В кн.: Проблемы инжеиерной пснхологин. Материалы III Всесоюзной конфереиции по ниженериой психологии, вып. 2. М., 1971, с. 172—196.

такие качества, как высокая активность, подвижность могут быть весьма полезными в экстремальном и оптимальном режимах, но нежелательными для минимального режима, где ценнее уравновешенность и невысокая подвижность. Поэтому даже для одной конкретной системы нелегко подобрать оператора с такими качествами, которые обеспечивали бы его высокую базовую надежность применительно ко всем режимам работы данной системы. Тем более нельзя найти человека с такими качествами, которые создавали бы ему высокую базовую надежность для всех систем и возможных в них режимов. Е. П. Ильин, касаясь этого вопроса, справедливо отмечает: «Нет людей, которые были бы надежны... вообще. Один человек может быть устойчив к стресс-факторам, но неустойчив к действию фактора монотонности, третий может быть .неустойчив к тому и другому, но хорошо работать при наступлении утомления» [14].

## VI.4.2. БАЗОВАЯ И ПРАГМАТИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ

Как показывает опыт работы операторов, им приходится действовать главным образом в оптимальном режиме, несколько реже при минимальном и учебно-тренировочном режимах. Экстремальный режим работы практически встречается не столь уж часто. Поэтому естественно возникает вопрос: гарантирует ли отбор операторов с позиций, предложенных В. Д. Небылицыным (т. е. исходя из способности надежно работать в экстремальном режиме), что операторы будут так же надежно действовать и в других режимах, предъявляющих иные требования к их данным? Вероятно, не гарантирует, поскольку надежность работы оператора в минимальном или оптимальном режиме зависит уже не столько от свойств нервной системы, сколько от других особенностей личности, вытекающих из ее направленности, эмоционально-волевых качеств, чувства долга, ответственности и пр. Ведь свойства нервной системы только показывают, насколько человек, с данными физиологическими качествами, потенциально *способен* надежно действовать в экстремальной ситуации. Однако для обеспечения надежности работы оператору недостаточно располагать такими возможностями. Помимо них, он должен обладать еще и психическими качествами, обусловливающими его *желание*, стремление максимально использовать эти возможности.

Следовательно, потенциальные возможности оператора к надежной работе определяются не только свойствами его высшей нервной деятельности, но зависят и от определенного комплекса его личностных качеств. Однако, все эти вместе взятые показа-

[14] Ильин Е. П. Обеспечение надежности деятельности в связи с учетом типологических особенностей свойств нервной системы. — В кн.: Проблемы инженерной психологии и эргономики. Тезисы к IV Всесоюзной конференции по инженерной психологии и эргономике, вып. 3. Ярославль, 1974, с. 144—145.

тели нервной системы, а также качества личности и составляют то свойство оператора, которое определяется понятием «базовая надежность».

Нужно отметить, что между той и другой группой качеств, лежащих в основе базовой надежности, имеется одно принципиально важное различие — степень их **устойчивости**. Так, *свойства нервной системы отличаются высокой консервативностью,* они почти не поддаются изменению, воспитанию в процессе деятельности, их можно только отчасти компенсировать за счет других свойств. *Свойства же личности являются уже менее устойчивыми:* посредством воспитания, обучения, тренировок можно со временем выработать соответствующую направленность личности, необходимые волевые качества, интерес к деятельности, чувство долга и др. Следовательно, эту группу качеств, необходимых для базовой надежности, можно формировать.

Таким образом, все изложенное подтверждает *целесообразность предложенного В. Д. Небылицыным подхода к отбору операторов* исходя из свойств их нервной системы, ибо именно эти свойства показывают, каковы возможности оператора. На их основе возможно далее, путем соответствующего обучения и воспитания, формировать у отобранных подобным образом людей такие личностные качества, которые будут обеспечивать уже полный комплекс данных, необходимых для высокой базовой надежности оператора.

В заключение данного раздела кратко остановимся на связи, существующей между прагматической и базовой надежностью оператора. Базовая надежность, как уже отмечалось, характеризует потенциальные возможности оператора к надежной работе, прагматическая — ту надежность, которая фактически имеет место. Если бы течение управляющей деятельности зависело только от оператора, а он, в свою очередь, использовал все свои возможности, то его прагматическая надежность не отличалась бы от базовой. Однако в практической деятельности надежность оператора обычно в значительной мере зависит от решаемой задачи, условий работы, особенностей техники и пр. Правда, за счет приспособительных возможностей, саморегуляции оператор может сохранять заданный уровень надежности в задачах различной сложности, однако это ему не всегда одинаково удается.

Таким образом, можно заключить, что прагматическая надежность будет зависеть как от базовой надежности, так и от условий деятельности оператора. Решающей здесь, очевидно, является базовая надежность, поскольку от нее зависят и возможности приспособления оператора к тем или иным условиям. И все же полностью прагматическую надежность она не определяет. Поэтому *базовую надежность следует рассматривать только как предпосылку надежной работы оператора,* как показатель, в значительной мере обусловливающий прагматическую надежность, но полностью ее не определяющий.

## VI.5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК—МАШИНА» И ЕЕ ОПЕРАТОРА

Работа системы «человек—машина» и деятельность в ней оператора, как было показано, определяется целым рядом характеристик: быстродействием, точностью, надежностью. Перечень этих характеристик можно дополнить и многими другими показателями, отражающими не только результаты функционирования системы (к ним относятся также экономические, социальные, эстетические и пр. характеристики), но и необходимые затраты на ее изготовление, приведение в действие и использование (стоимость системы, стоимость подготовки оператора, его энергозатраты при управлении и пр.). Отметим, что каждый из названных параметров оценивает только одну определенную сторону, отдельную характеристику системы. Возникает вопрос: нельзя ли дать некоторую обобщенную оценку действия системы или ее оператора, которая объединяла бы в себе ряд их основных частных показателей и более полно отражала бы их работу?

В технике для подобных оценок обычно используется характеристика эффективности, *определяющая достоинства системы, предоставляемые ею выгоды по отношению к тем затратам, которые потребовались для создания и применения системы.* Эта характеристика в принципе может быть применена и к системе «человек—машина». Рассмотрим конкретный пример.

Предположим, имеется система, которая при данных ограничениях по времени действия (T) и по точности (D) работает с определенной надежностью (P). Пусть другая модификация системы, при аналогичных затратах на ее изготовление и обслуживание, выполняет ту же функцию в пределах того же времени (T), но уже при бо́льших ограничениях по точности (D′) и при этом действует так же надежно (P). По этим показателям можно заключить, что вторая система, действующая точнее, будет более эффективной.

Однако если бы бо́льшая точность модифицированной системы была достигнута ценой дополнительных материальных затрат, то тогда, учитывая уже совместно четыре параметра системы (быстродействие, точность, надежность и стоимость), можно усомниться в том, какая из этих систем эффективнее: вторая — более точная, но и более дорогая — или первая — менее точная, но более дешевая. Следуя этим путем, в оценку эффективности можно включить и пятый параметр (например, вес системы), и шестой (энергозатраты оператора на ее управление) и т. д., причем перечисленные показатели при общей оценке системы оказываются весьма неравнозначными. Так, например, для одной системы особенно важной может оказаться надежность работы и малая стоимость, для другой могут быть существенными точность, надежность и вес, а стоимость — не иметь решающего

значения. Поэтому при определении эффективности системы приходится учитывать и удельные веса отдельных показателей, исходя из степени их важности в данной системе.

В системах «человек—машина», где особая роль придается человеческому фактору, большой удельный вес в показателе эффективности обычно приобретают характеристики деятельности оператора. Подобная система, даже при самых высоких технических показателях и малых материальных затратах, не может считаться достаточно эффективной, если требуемые результаты здесь достигаются за счет высокой напряженности труда оператора, если в ней не обеспечены благоприятные условия его жизнедеятельности. В подобных системах при оценках их эффективности приходится учитывать и уровень комфорта, и уровень удовлетворенности оператора своим трудом, и влияние этого труда на развитие его личности и пр. Все эти характеристики чрезвычайно трудно выразить количественно, трудно учесть их удельный вес среди прочих технических, экономических и социальных характеристик.

В чисто технических системах показатель эффективности оказывается тем большим, чем меньшими будут затраты на ее создание и обслуживание. В системах же «человек—машина» существует некоторый оптимальный уровень энергозатрат оператора на управление ситемой, где снижение этих затрат ниже указанного уровня, как было показано, уже влечет за собой понижение надежности работы оператора, а следовательно, и системы. Данная нелинейная зависимость между затратами оператора и эффективностью системы, а также трудности получения количественных оценок этих затрат существенно усложняют приложение обычных методов оценки эффективности к человеко-машинным системам. Поэтому здесь приходится использовать довольно приближенные методы, учитывающие эффективность системы главным образом на основе показателей ее функционирования относительно некоторого среднего уровня затрат на ее создание и эксплуатацию.

Таким образом, *эффективность системы «человек—машина» рассматривается как относительный интегральный показатель степени ее совершенства, оцениваемый по тому, насколько она, при данных вложениях, целесообразно функционирует и разрешает возложенные на нее задачи, с точки зрения выделенных в ней существенных параметров.* При этом система, эффективная для одного круга задач, может оказаться менее эффективной для другого круга, т. е. изменение точки зрения на существенные параметры при новых критериях оценки может сделать неэффективной даже самую эффективную систему.

Иногда среднюю эффективность (W) системы «человек—машина» определяют по показателю выполнения ею возложенных на нее задач, используя следующую формулу[15]:

[15] Введение в эргономику. М., 1974, с. 33.

$$W = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i P(R_i),\qquad (6.27)$$

где $P(R_i)$ — вероятность выполнения системой задачи $i$ из $n$ возможных задач,

$\alpha_i$ — весовой коэффициент задачи $i$ в общем показателе эффективности системы.

С изложенных позиций можно подойти и к оценке эффективности деятельности оператора. Покажем один из вариантов такой возможности. Рассмотрим деятельность оператора при каком-то неизменном уровне затрат на его подготовку и работу.

Полное описание деятельности оператора включает в себя как различные показатели степени ее соответствия своему назначению (качества), так и способности выполнять заданные функции в установленных условиях за данное время при сохранении требуемого качества (надежности). Характеристики качества выражаются обычно в виде показателей различных рабочих характеристик (например, точности выдерживания отдельных параметров). Надежность же определяется вероятностью выполнения заданных функций по принципу «да—нет». Для получения обобщенной оценки требуется выразить характеристики качества через вероятностные категории, т. е. определить вероятность события, при котором соответствующие характеристики качества работы оператора будут находиться в установленных пределах.

Обозначим вероятность безотказной работы оператора через $P(A)$. Это событие может произойти при различных несовместимых состояниях его качества: $k_1, k_2, \ldots, k_n$, которые наступают соответственно с вероятностями: $P(k_1), P(k_2), \ldots, P(k_n)$.

Тогда средняя условная вероятность безотказной работы оператора, при всевозможных состояниях качества, определит эффективность работы оператора ($W$):

$$W = \sum_{i=1}^{n} p(k_i) P(A|k_i),\qquad (6.28)$$

где $p(k_i)$ — вероятность появления данного $k_i$-го качества деятельности оператора,

$P(A|k_i)$ — вероятность безотказной работы оператора в условиях $k_i$-го качества.

В формуле (6.28) эффективность расценивается с точки зрения надежности действия оператора при различных значениях качества. Возможно оценивать качество работы по достижению какими-либо характеристиками максимальной величины (по принципу «чем больше, тем лучше»). В таком случае критерием эффективности может служить математическое ожидание этой величины. Эффективность деятельности оператора тогда определяется формулой:

$$W = \sum_{i=1}^{n} p(k_i) M(U|k_i), \tag{6.29}$$

где $U$ — характеристика деятельности оператора,
$M(U|k_i)$, — условное математическое ожидание этой характеристики при качестве $k_i$.

Формулы (6.28) и (6.29) могут применяться для оценки эффективности работы как оператора, так и системы «человек—машина», Так, например, параметрам $k_1, k_2, \ldots, k_n$ можно задать различные пределы точности действия оператора, а характеристиками $P(A|k_1), P(A|k_2), \ldots, P(A|k_n)$ определить вероятность безошибочной работы оператора при заданных уровнях точности. Тогда формула (6.29) позволит оценить среднюю эффективность деятельности оператора с учетом точности и надежности его работы.

Приведем другой пример. Требуется оценить эффективность системы исходя из ее быстродействия и точности. Для этого используем формулу (6.29). Пусть $U$ характеризует быстродействие системы. Для каждого уровня точности системы: $k_1, k_2, \ldots, k_n$ — возможно определить условное математическое ожидание быстродействия: $M(U|k_1)$, $M(U|k_2), \ldots, M(U|k_n)$. Зная вероятности выдерживания заданной точности $p(k_1)$, $p(k_2), \ldots$, $p(k_n)$, по формуле (6.29) можно подсчитать среднюю эффективность системы с точки зрения ее быстродействия при различных уровнях точности.

* * *

Итак, в трех последних главах был рассмотрен ряд основных показателей, отражающих результаты работы оператора и системы. Теперь перейдем к изложению глав, в которых на основе информационных и других изученных характеристик анализируются технические средства, с которыми непосредственно соприкасается и взаимодействует оператор. Начнем с анализа и психологической оценки средств отображения информации.

# Раздел III. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОПЕРАТОРА

## Глава VII. Технические средства отображения информации и их психологические оценки

### VII.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ИНДИКАТОРОВ

Особый интерес для инженерной психологии представляют те звенья машины, с которыми оператор непосредственно соприкасается. Такие звенья находятся как у сенсорного «входа» оператора в виде индикаторов, сигнализаторов, табло и других технических средств, информирующих его о состоянии управляемого объекта и всей системы, так и у моторного «выхода» — в виде органов управления, посредством которых оператор воздействует на объект и выполняет заданную программу деятельности. В настоящей главе будет рассмотрена первая группа технических устройств — средства отображення информации (СОИ).

В свое время — 40—50 лет назад — задачи психологической оценки и конструирования шкал индикаторных приборов послужили поводом для первых инженерно-психологических исследований. И в наше время эти задачи сохраняют свое ведущее место в данной области знания — их изучению посвящено около четверти всех выполненных здесь научных работ.

На приборных досках современных автоматизированных систем управления установлены десятки и сотни индикаторных устройств, причем, как показывает анализ, число индикаторов и органов управления, приходящихся на одного оператора, с каждым годом непрерывно возрастает. Об этом свидетельствует диаграмма, приведенная В. А. Трапезниковым[1], которая иллюстрирует рост насыщения приборами систем «человек—машина» водительского профиля (рис. 7.1). Указанная тенденция привела к тому, что предмет исследования инженерной психологии стал постепенно смещаться от вопросов согласования отдельных индикаторов с характеристиками восприятия оператора в сторону изучення согласовання уже всего общего потока приборной информации с сенсорными возможностями оператора и решаемыми задачами.

Большое разнообразие средств предъявления информации, используемых в системах «человек—машина», разнообразие

[1] Трапезников В. А. Человек в системе управления. — «Наука и жизнь», 1972, № 2, с. 4.

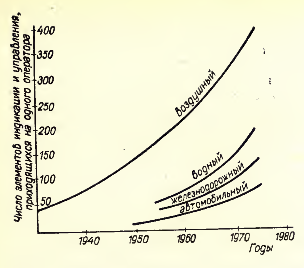



Рис. 7.1. Рост количества элементов индикации в системах водительского типа (по В. А. Трапезникову).

форм индикации, принципов действия приборов и решаемых ими задач обусловили появление различных способов классификации СОИ. Если в основу классификации индикаторов положить психологические факторы, эти средства можно подразделить по следующим критериям:

— модальность передаваемых сигналов,
— принцип построения сигнала,
— функция, которую выполняет передаваемая информация,
— способ использования информации оператором.

Остановимся отдельно на каждом из этих критериев.

По **модальности передаваемых сигналов** различаются индикаторы зрительных, звуковых, тактильных и других видов сигналов. Наиболее распространены индикаторы, передающие информацию по каналу зрения. Это обусловлено рядом причин. Во-первых, *зрительная* информация наиболее полно и разносторонне может отражать состояние ее источника, и человеку, вероятно, поэтому свойственно получать подавляющий объем информации (80—90%) из окружающего мира именно по этому каналу. Во-вторых, по зрительному каналу, в отличие от других каналов, возможно параллельно передавать большое количество отдельных сигналов в расчете на то, что при необходимости оператор будет концентрировать внимание лишь на нужном ему сигнале. В-третьих, передача зрительных сигналов наиболее легко и без особых материальных затрат поддается технической реализации. Все эти достоинства зрительной индикации обусловили ее широкое использование и возникновение наибольшей перегрузки

именно в этом канале передачи информации. Поэтому в наше время стал особенно актуален вопрос привлечения других каналов чувствительности оператора для передачи ему информации о состоянии управляемой системы. Однако на этом пути имеются весьма существенные трудности. Так, *слуховой* канал обычно занят восприятием речевых команд, поступающих по радио, телефону и непосредственно, — команд, особенно важных для оператора, поскольку они могут изменить общую программу и стратегию всей его деятельности. Поэтому по каналу слуха можно передавать только отдельные короткие, крайне важные сигналы о состоянии системы, требующие немедленного реагирования. Использование *тактильной чувствительности* связано с практическими трудностями подключения датчиков к отдельным участкам тела оператора и трудностями декодирования оператором подобных сигналов. Канал же *болевой чувствительности,* очевидно, может иметь весьма ограниченное применение — например, для пробуждения оператора (шофера) в случае его засыпания или передачи аварийных жизненно важных сигналов.

По **принципу построения сигнала** СОИ можно разделить на две большие группы:

— индикаторы, отображающие состояние объекта в форме *абстрактных символов;*

— индикаторы, передающие сигналы в форме *изображений,* сходных с отдельными существенными для управления свойствами объекта (картинные).

В первой группе индикаторов для передачи сообщений используются некоторые абстрактные символы, отображающие отдельные свойства или состояния объекта посредством различных конфигураций, цвета и яркости знаков на шкале индикаторов. Здесь могут применяться способы *непрерывного* отображения информации (например, когда стрелка прибора плавно перемещается соответственно изменению измеряемого параметра) и *дискретного* отображения, когда изменения измеряемого параметра передаются ступенчато (например, воспроизводятся отдельные цифровые значения). В индикаторах, использующих абстрактные символы, наиболее существенным является выбор такого способа представления информации, который соответствовал бы не только перцептивным особенностям оператора, но и тем задачам, в которых эта информация используется, соответствовал бы сложившимся навыкам и установкам оператора (например, сигнал о пожаре должен быть красным, а сигнал разрешения — зеленым).

Особенностью картинных индикаторов, представляющих информацию в виде наглядных образов, является их способность передавать целый комплекс динамических взаимосвязанных свойств объекта, причем передавать их в таком виде, который непосредственно ассоциируется с этими свойствами. Указанные достоинства придают картинным индикаторам определенные пре-

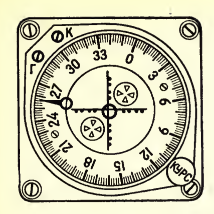



Рис. 7.2. Шкала командного прибора пилота (КПП).

имущества по сравнению с абстрактными. И все же, несмотря на это, абстрактные СОИ пока имеют более широкое применение, поскольку далеко не всегда целесообразно передавать информацию о состоянии объекта в виде картинных изображений (например, выдавать подобным образом данные о температуре или времени), а если это и оказывается выгодным, то не всегда удается решить такую задачу доступными техническими средствами.

По **функции выдаваемой информации** СОИ делят на *командные* (целевые) и *контрольные*. Командные индикаторы сразу указывают цель управления («конечную точку», которая должна быть достигнута) и направление действий, необходимых для ее достижения. Примером такого индикатора может служить командный прибор пилота (КПП), который используется при заходе на посадку по радиолучу (рис. 7.2). Если самолет в таком случае отклоняется от оси взлетно-посадочной полосы или от заданной траектории снижения, то планка на шкале прибора (соответственно вертикальная или горизонтальная) сместится от центра, причем тем дальше, чем больше будет возникшее отклонение. Направление отклонения планки указывает пилоту, в какую сторону нужно направить самолет для устранения возникшего нарушения.

К контрольным индикаторам относится абсолютное большинство приборов, расположенных на современных пультах управления. Таковыми являются индикаторы распределения нагрузки, напряжения, мощности на щите оператора энергосети, все приборы на пульте шофера и т. п. По подобным индикаторам оператор может определять лишь значение отдельных параметров системы и их отношение к заданным показателям программы. Однако их сигналы сами по себе обычно не могут служить основанием для выбора способа управляющего действия.

По **способу использования показаний** индикаторы принято делить на три группы: приборы контрольного, качественного и количественного чтения.

а) По индикаторам *контрольного* (проверочного) *чтения* оператор обычно решает задачу «да или нет»: включено ли устройство, в норме ли его параметры и т. п. В качестве подобных индикаторов используются сигнальные лампы, табло, иногда стрелочные приборы, на шкале которых выделены участки, указывающие допустимые или недопустимые границы отклонений параметра.

б) На индикаторах *качественного чтения* отображается информация о направлении изменения контролируемого параметра: возрастает или падает значение параметра, отклоняется объект вправо или влево. Подобные индикаторы совмещают в себе прибор контрольного и качественного чтения. К ним относятся, в частности, указатель автопилота (рис. 7.3), стрелка которого указывает сторону, в которую накреняется самолет.

в) Индикаторы *количественного чтения* передают информацию в виде численных значений контролируемых параметров. Абсолютное большинство индикаторов систем управления относится к данной группе. По ним осуществляется также контрольное и качественное чтение сообщений, которое часто облегчается благодаря использованию дополнительных цветовых индексов, указывающих предельно допустимые границы отклонений параметров.

Кроме перечисленных критериев разделения индикаторов, их можно классифицировать и по ряду других существенных для психологии признаков:

— по роли выдаваемой информации в деятельности оператора (индикаторы основной и вспомогательной информации);

— по срочности реагирования на эту информацию (индикаторы аварийной, предупредительной, текущей информации);

— по числу отображаемых параметров (интегральные индикаторы, выдающие данные об единичных параметрах или о целых комплексах параметров);

— по числу операторов, использующих индикатор (приборы индивидуального или группового пользования);

— по способу вызова или выбора информации (индикаторы, выдающие информацию постоянно или по вызову, во втором случае — с выбором или без выбора).

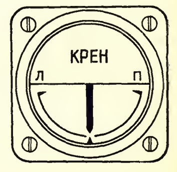



Рис. 7.3. Шкала качественного чтения (индикатора автопилота).

В последнее время среди средств отображения информации выделился их особый вид — *мнемосхемы*, представляющие собой некоторую единую систему графических символов и шкал приборов, специально созданную для наглядного отображения состояния управляемого объекта применительно к задачам операторской деятельности.

Наличие значительного числа различных критериев, определяющих психологические особенности средств отображения информации, естественно, затрудняет получение единых обобщенных оценок этих средств с точки зрения эффективности их использования в деятельности оператора. Поэтому в конкретных инженерно-психологических исследованиях обычно ограничиваются характеристикой *читаемости* индикатора, которая оценивается по скорости и точности различения, опознания и интерпретации его показаний. Рассмотрим несколько подробнее отдельные виды индикаторов.

## VII.2. ИНДИКАТОРЫ, ОТОБРАЖАЮЩИЕ ИНФОРМАЦИЮ АБСТРАКТНЫМИ СИМВОЛАМИ

### VII.2.1. СТРЕЛОЧНЫЕ ИНДИКАТОРЫ

Основными достоинствами стрелочных индикаторов являются несложность конструкции, удобство и простота эксплуатации, сравнительно малые затраты на их изготовление. Поэтому, несмотря на некоторые недостатки (ограниченную наглядность представления информации, возможность передачи сообщений только об отдельных параметрах, относительно большую площадь циферблатов), стрелочные индикаторы получили самое широкое распространение. В значительной мере этому способствовал тот факт, что операторы сравнительно хорошо приспосабливаются к использованию таких приборов. Вследствие повсеместного применения индикаторов этого типа и доступности их исследования, они оказались и наиболее изученными. Остановимся на некоторых результатах инженерно-психологических исследований лицевых частей стрелочных индикаторов.

Как показали многочисленные эксперименты, проведенные со стрелочными индикаторами различных типов, их читаемость зависит главным образом от технических характеристик лицевой части прибора: размеров и формы как самой шкалы, так и стрелки, способа разметки шкалы, ее оцифровки и ряда других свойств. Влияние этих факторов на скорость и точность отсчетов в различных вариантах исследовалось советскими и зарубежными учеными. Рассмотрим кратко некоторые из полученных результатов.

Еще в 1948 г. Р. Слейт (R. Slight) провел исследование читаемости индикаторов различной формы, которое впоследствии стало классическим и породило целую серию подобных исследований. Р. Слейт предъявлял испытуемым для отсчетов тахистоскопически в течение 0,12 с индикаторы, имеющие следующие формы шкал: «открытое окно» (счетчик), круглую, полукруглую, горизонтальную и вертикальную (рис. 7.4). В опытах экспонировались различные положения стрелки на этих шкалах. Результаты отсчетов, которые оценивались по числу допущенных ошибок, приведены в таблице 8. Оказалось, что наиболее точно испытуемые отсчитывают показания со счетчика типа «открытое окно» (а), затем следует круглая шкала (б), полукругая (в), горизонтальная (г) и, наконец, вертикальная (д).

Таблица 8

| Форма шкалы | а | б | в | г | д |
|---|---|---|---|---|---|
| Максимальный размер шкалы, см | 4,233 | 5,503 | 11,006 | 17,780 | 17,780 |
| Ошибки отсчетов | 0,5 | 10,9 | 11,6 | 27,5 | 35,5 |

Преимущество счетчика типа «открытое окно» объясняется простотой задачи — опознания демонстрируемых цифр. Здесь не требуются поисковые движения — взгляд испытуемого нацеливается на центр «окна» и за время экспозиции он успевает прочитывать стоящую в нем цифру. Лучшая читаемость круговой и полукруговой шкалы, по сравнению с линейной (горизонтальной и вертикальной), обусловливается наличием двух мер оценки положения стрелки на первых шкалах и лишь одной меры — на

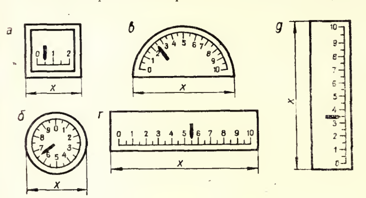



Рис. 7.4. Формы шкал, исследованных в опытах В. Слейта (х — размеры шкалы).

[2] Миллер Дж. А. Магическое число семь плюс минус два. — В кн.: Инженерная психология. М., 1964, с. 192—225.

вторых. Если отсчеты линейных шкал осуществляются только за счет идентификации положения стрелки среди делений шкалы, то на полукруговой и круговой шкале к такой мере добавляется еще и мера угла наклона стрелки. Дж. А. Миллер[2] (G. A. Miller) на разнообразном экспериментальном материале показал, что с увеличением числа информативных признаков сигнала (т. е. с увеличением его мерности) растет точность идентификации и информативность этого сигнала.

Более высокую точность отсчетов круговых и полукруговых шкал можно объяснить также большей экономичностью маршрутов движения глаз. Это заключение подтверждается экспериментальными данными. При считывании показаний с небольших линейных горизонтальных шкал (длиной 150 мм) результаты отсчетов примерно совпадают с результатами отсчетов небольших круговых шкал той же длины (при диаметре прибора 50 мм). При отсчетах же горизонтальной линейной шкалы размером 250 мм и соответственно круговой с диаметром 80 мм разница в длине зрительных маршрутов становится уже ощутимой и между точностью отсчетов этих приборов появляется существенное различие. Разница в точности отсчетов горизонтальных и вертикальных шкал объясняется следующими факторами: наличием у человека большего зрительного поля по горизонтали, чем по вертикали, а также и более совершенными автоматизмами движений глаз по горизонтали, сложившимися благодаря навыкам чтения. Следует заметить, что по всем рассмотренным стрелочным индикаторам, кроме счетчика, оператор может оценивать не только текущие значения параметров, но также их производные, динамику их изменения (для круговых шкал это было показано в гл. III).

Таким образом, по опытам Р. Слейта можно заключить, что *психологические факторы в значительной мере определяют различие в точности считывания отдельных шкал* рассматриваемых индикаторов. Результаты Р. Слейта были подтверждены и другими авторами. А. А. Митькин[3] повторил эти опыты, однако при несколько необычных условиях считывания приборов. Он предлагал испытуемым считывать показания с тех же шкал, которые использовал Р. Слейт, но без отметок и оцифровки (т. н. «слепых шкал»). После тренировок в чтении оцифрованных шкал испытуемые должны были осуществлять отсчеты со «слепых» шкал. Здесь им приходилось ориентироваться только на положение стрелки между начальной и конечной точкой линейной шкалы, в случае если «слепая» шкала была круговой и полукруговой, а также на угол наклона стрелки. Последовательность расположе-

---

[3] Митькин А. А. Исследования процесса чтения приборных шкал различных форм в условиях дефицита времени. — В кн.: Инженерная психология в приборостроении. М., 1967, с. 47—53.

ння «слепых» вариантов шкалы по точности отсчетов в этих опытах совпала с последовательностью, установленной Р. Слейтом.

Имеются экспериментальные данные[4], указывающие, что если снизить требования к точности отсчетов до уровня 4—6% приведенной погрешности, то различие в точности считывания горизонтальной, круговой и полукруговой шкалы практически исчезает. Однако эти данные ни в коей мере не опровергают сделанного выше заключения о различной читаемости исследуемых шкал. Они лишь показывают, что при определенных условиях опыты перестают быть диагностирующими по отношению к дифференцированию психологических качеств шкал и что для грубых щитовых индикаторов эти различия оказываются уже несущественными.

К указанным оценкам рассмотренных шкал можно добавить, что круговая шкала выгодна и тем, что максимальная ее длина размещается на небольшом пространстве (это делает прибор более компактным), а вращательные перемещения стрелки облегчают количественное и качественное считывание показаний. Полукруговая, или секторная, шкала сохраняет достоинства круговых шкал и оказывается выгодной для отображения параметров, не требующих экспонирования всего диапазона изменений. Линейные шкалы, исходя из их особенностей, целесообразнее использовать только при их небольшой длине; в таком случае указанные недостатки этих шкал оказываются менее выраженными.

Отмечено, что круговые шкалы точнее считываются в верхнем секторе, а горизонтальные — в центральной части, причем более высокая точность достигается тогда, когда начальная точка отсчета находится слева. Здесь, очевидно, сказываются навыки чтения печатного текста, определяющие привычное движение глаз справа налево.

Скорость и точность отсчетов стрелочных приборов зависят от того, *что является подвижным элементом* индикатора — стрелка или шкала. Установлено, что при коротких экспозициях (менее 0,5 с) точнее читаются приборы с подвижной шкалой и неподвижной стрелкой. Здесь условия отсчета приближаются к тем, которые имеют место при чтении показаний счетчика (отсутствуют поисковые движения глаз). Однако при больших экспозициях лучше отсчитываются приборы с неподвижной шкалой и подвижной стрелкой.

А. Чапанис[5] произвел сравнение пригодности трех типов индикаторов (неподвижная круговая шкала с подвижной стрелкой, подвижная круговая шкала с фиксированной стрелкой и счетчик)

---

[4] Никифоров Г. С., Кашин В. К. Дифференциальный подход к ошибкам считывания со шкал различной формы. — В кн.: Надежность и эффективность комплексных систем «человек—техника». Ч. 1. Л., 1971, с. 76—77.

[5] Чапанис А. О некоторых отношениях между инженерной психологией, исследованием операций и системотехникой. — В кн.: Инженерная психология. М., 1964, с. 86—130.

для контрольного, качественного и количественного чтения. Он исследовал влияние этих характеристик индикаторов также на результаты деятельности по установке органов управления в заданное положение и при слежении. Полученные данные приведены в табл. 9 (степень пригодности указанных типов индикаторов для решения отдельных задач оценивалась по пятибалльной системе).

Таблица 9

| Задача | Типы индикаторов | | |
|---|---|---|---|
| | Подвижная стрелка на круговой шкале | Подвижная круговая шкала | Счетчик |
| Контрольное чтение | 5 | 2 | 2 |
| Качественное чтение и слежение | 5 | 3 | 2 |
| Количественное чтение | 3 | 3 | 5 |
| Установка органов управления | 5 | 3 | 5 |

Из таблицы следует, что *наилучшие результаты выполнения различных заданий достигаются при использовании круговой шкалы с подвижной стрелкой.* Хорошие результаты отсчетов получаются и со счетчика, однако в то же время он оказывается явно непригодным для контрольного чтения и слежения. Объединение на одном индикаторе стрелочного указателя и счетчика позволяет создавать приборы, одинаково хорошо пригодные для разрешения всех задач, указанных в табл. 9.

Существенно облегчить выполнение задач слежения может использование в индикаторах, имеющих круговые шкалы с подвижной стрелкой, механизма ориентировки шкалы. Таким механизмом снабжен, например, самолетный указатель курса (УК), о котором мы уже говорили в предшествующих главах, а также вышеупомянутый командный прибор пилота (КПП). Шкалы этих приборов вместе с указателями могут разворачиваться на 360°. Для разворота шкалы указателя курса в нижней лицевой части прибора предусмотрена рукоятка (рис. 5.1). Такая же рукоятка «курс» имеется на приборе КПП (рис. 7.2). Поворотом этой рукоятки возможно сориентировать шкалу прибора таким образом, чтобы в верхней ее точке — против неподвижного индекса — был установлен заданный курс. При таком положении шкалы слежение за установленным курсом значительно облегчается и заключается лишь в удержании стрелки в вертикальном положении против индекса. Слежение облегчается и тем, что форма представления приборной информации приближается к образу отображаемого свойства управляемого объекта. Действительно, образу полета с заданным курсом при горизонтальном

расположении прибора соответствует движение вперед в направлении стрелки компаса. Для нашего указателя курса, установленного на вертикальной приборной доске (как бы компаса, помещенного перед оператором), теперь уже вертикальное положение стрелки будет соответствовать образу полета по заданному курсу. Образам отклонения самолета от курса будут соответствовать повороты в ту же сторону «силуэтика» на шкале прибора. Если бы не было возможности механической ориентировки шкалы, для подобного согласования летчику пришлось бы мысленно разворачивать шкалу с указателем и выводить суждение о курсе на основе представлений, что, естественно, усложняло бы его деятельность.

В гл. V было экспериментально показано существенное значение в восприятии приборной информации образа «вилки» — угла на шкале прибора между фактическим положением стрелки и воображаемым, заданным по программе. Поэтому весьма важно при создании стрелочных индикаторов *специально предусматривать технические средства, облегчающие считывание с прибора «вилок»*. Таким средством может явиться специальный индекс на шкале индикатора, положение которого задается рукояткой на приборе. Когда индекс устанавливается на отметку шкалы, соответствующую норме заданного параметра, то «вилки» образуются уже не между реальной и воображаемой отметкой, а между двумя реальными знаками — стрелкой и индексом. Это, естественно, облегчает и ускоряет восприятие таких «вилок».

Заметное влияние на результаты деятельности оператора имеют *размеры шкалы*. Выбор этих размеров ограничивается, с одной стороны, необходимостью обеспечения заданной точности отсчетов, а с другой — потребностью в сокращении площади индикатора на приборной доске в связи с ростом количества индикаторов. Изучение зависимости скорости и точности восприятия показаний приборов от их диаметра проводились в Советском Союзе еще в конце 20-х — начале 30-х гг. Так, в 1928 г. С. М. Розенберг пришел к заключению, что шкалы авиационных приборов, несущие наиболее важную информацию, должны иметь диаметр 120—130 мм, менее важную — 70—80 мм, а остальные — 50 мм. Исследование влияния диаметра шкалы на точность отсчетов было произведено и А. А. Крыловым[6]. Он измерял точность отсчетов показаний одинаковых шкал приборов, отличающихся только размерами (50, 60, 90, 120 и 150 мм), с расстояния в один метр при экспозиции 0,3 с. Автор показал, что с увеличением диаметра шкалы снижается точность отсчетов и увеличивается затраченное время (рис. 7.5). Этот результат он считал следствием недостаточности времени для выполнения более длинных зрительных маршрутов при отсчете показаний приборов большего диаметра.

[6] Крылов А. А. Влияние диаметра шкалы на читаемость стрелочных контрольно-измерительных приборов. М., 1962, № 1, с. 89—92.

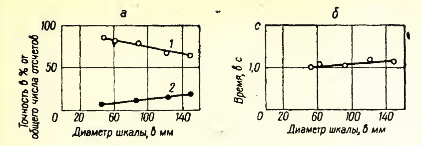



Рис. 7.5. Зависимость точности и времени считывания показания приборов от диаметра их шкалы (по А. А. Крылову): 1 — число правильных ответов, 2 — число невосприиятых показаний.

Данное положение было подтверждено в ходе последующих исследований[7] процесса восприятия показаний стрелочных индикаторов, проведенных с фиксацией движения глаз: с увеличением диаметра шкалы длина зрительного маршрута возрастала. В то же время другие опыты показывают, что при уменьшении диаметра шкалы (менее 18 мм) скорость и точность отсчетов тоже падает, но уже из-за ухудшения различимости отметок шкалы. Все это свидетельствует о необходимости выбора некоторого оптимального значения диаметра шкалы.

Ухудшение различимости отметок шкалы может возникнуть и на приборе большого диаметра, если он будет считываться с дальнего расстояния или на его шкале будет много делений (она разградуирована на мелкие единицы). Поэтому выбор диаметра шкалы индикаторного прибора приходится осуществлять как с учетом дальности отсчета, так и требуемой точности ее градуировки.

Для осуществления такого выбора на основе экспериментальных проверок была составлена таблица (рис. 7.6)[8]. Она напоминает решетку, каждый вертикальный стержень которой определяет соответствующее расстояние отсчета, а каждый горизонтальный — число делений шкалы. На пересечениях стержней изображены кружочки разных размеров, указывающие искомые значения диаметра шкалы в миллиметрах. Так, например, если расстояние отсчета равно 0,9 метра (вторая вертикаль слева), а число делений равно 100 (четвертая сверху горизонталь), то на пересечении этих линий находится искомое оптимальное значение диаметра шкалы — 65 мм.

При выборе диаметра шкал, кроме расстояния отсчетов и тре-

[7] Карпов В. В., Князев М. М. О возможности управления движениями глаз при восприятии шкал. — В кн.: Проблемы инженерной психологии. Материалы II Всесоюзной конференции по инженерной психологии, вып. 2. М., 1968, с. 195—201.

[8] Вудсон У., Коновер Д. Справочник по инженерной психологии. М., 1968, с. 76.

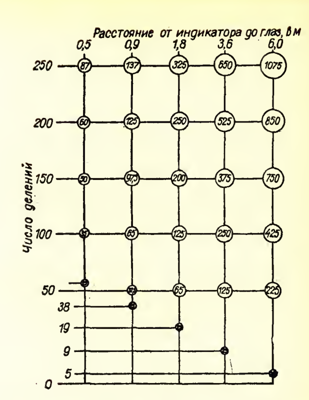



Рис. 7.6. Таблица для определения диаметра шкалы прибора в зависимости от расстояния отсчетов и числа делений (по У. Вудсону и Д. Коноверу).

буемой градуировки шкалы, очень важно учитывать и ту точность, с которой должен считываться индикатор. Точность же эта, как было показано в гл. V, диктуется задачами, которые разрешает оператор посредством данного индикатора. Для выбора оптимальных характеристик шкалы однострелочного указателя (ее диаметра, градуировки), с учетом допустимых погрешностей отсчетов, еще в 1958 г. группой советских ученых были разработаны соответствующие расчетные кривые — номограммы [9]. Такие номограммы, как считают авторы, можно использовать также для разрешения обратной задачи: по характеристикам индикатора и дальности отсчетов прогнозировать ожидаемую погрешность считывания его показаний.

Иногда для оценки условий считывания индикатора вместо двух измерений — диаметра шкалы и расстояния отсчета — ис-

[9] Эти номограммы представлены в книге К. К. Платонова «Вопросы психологии труда» (М., 1970, с. 184).

пользуется один показатель — угловые размеры прибора. Существует мнение, что оптимальным является угол обзора отдельного прибора, лежащий в пределах 2,5—5°.

Как показали экспериментальные исследования, точность считывания стрелочных индикаторов обусловлена, кроме указанных факторов, и целым рядом особенностей *разметки* и *оцифровки шкалы*, а *также формы стрелки*. К ним относятся: минимальное расстояние между делениями, интервал оцифровки, размеры штрихов минимальных и оцифрованных делений, форма стрелки, расстояние между ее концом и штрихами делений, форма и способ изображения цифр, цвет стрелки, шкалы и изображенных на ней знаков и т. д. Каждая из этих характеристик подвергалась специальному изучению, затем были разработаны специальные графики, таблицы, позволяющие, исходя из условий задачи, сразу определять искомый параметр стрелочного индикатора [10].

Среди этих данных заслуживают внимания некоторые конкретные рекомендации. Так, было установлено, что оптимальный интервал между оцифрованными делениями заключен в пределах 12,5—18 мм (при наблюдении с расстояния 750 мм). Доказано, что целесообразно оцифровывать либо каждое 2-е, либо каждое 5-е, либо каждое 10-е деление. При этом следует отметить, что при оцифровке на каждом 2-м делении достигалась наибольшая точность интерполяции положения стрелки и более быстрое научение отсчетам, а при оцифровке на каждом 5-м делении получались наилучшие результаты одновременно по скорости и точности считывания. Шкалы же, имеющие оцифровку каждого деления, требовали вдвое большего времени на отсчеты по сравнению со шкалами, где были оцифрованы лишь 5-е деления. В общем, все эти опыты показывают, что операторы способны достаточно хорошо оценивать не только половины делений, но и их пятые, а иногда и десятые части.

Цифры и буквы на шкалах индикаторов по размерам и характеру начертания выбираются с учетом, с одной стороны, ограниченной площади шкалы и, с другой — необходимой читаемости их с заданного удаления при имеющемся освещении. Здесь также разработаны специальные таблицы и графики, позволяющие по условиям отсчета определять характеристики начертания цифр и букв.

Совершенствование формы кодирования информации на стрелочных индикаторах нельзя ограничивать выбором только оптимальных форм представления сигналов — формы шкал, индексов и т. п. *Выбор оптимальных единиц представления информации* может также явиться средством повышения эффективности кодирования. В качестве примера удачного выбора таких единиц

---

[10] Некоторые из этих таблиц приведены в «Справочнике по инженерной психологии» У. Вудсона, Д. Коновера (М., 1968, с. 69—82) и в книге «Инженерная психология в применении к проектированию оборудования» (М., 1971, с. 84—96).

может служить индикатор скорости вращения турбины двигателя. Скорость турбины обычно принято измерять в оборотах в секунду; в этих же единицах, казалось бы, следует и представлять этот параметр на шкале индикатора. Однако для ее градуировки были избраны иные единицы измерения — проценты. При использовании такого индикатора, получившего название «процентник», оператору уже не требовалось запоминать пятизначные цифры оборотов (например, 12 300 на форсированном режиме) и оперировать ими при установке требуемого режима работы двигателя, а нужно было действовать с более простыми для запоминания и работы единицами — процентами от максимальных оборотов (для форсированного режима, например, 95%).

## VII.2.2. ЦИФРОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ

Выше было показано, что индикаторы типа «окно» — счетчики, в которых информация предъявляется в цифровой форме при считывании точных данных и установке по ним органов управления, — имеют большие преимущества перед другими типами индикаторов. Этот факт послужил поводом к разработке специальных индикаторов, выдающих информацию только в цифровой форме.

Вначале такие индикаторы были основаны на *механическом принципе* действия — повороте дисков барабана таким образом, чтобы в щели окна счетчика появлялась требуемая последовательность цифр. Затем механические счетчики стали заменяться *электрическими* и *электронными,* в которых цифры предъявлялись путем проектирования или высвечивания их посредством электрооптических средств или материалов (электролюминесцирующих соединений, светоизлучающих диодов, жидких кристаллов и пр.). В подобных счетчиках используются два принципа индикации: высвечивание целиком всего символа или же образование символа за счет высвечивания соответствующих элементов из общего набора сегментов. На рис. 7.7 представлены названные способы цифровой индикации.

Предъявление цельных цифр осуществляется либо путем их проектирования на счетчиках или высвечивания (от боковой подсветки), либо посредством многокатодных электронных ламп. Сопоставление различных форм индикации цифр показывает, что, при разных интенсивностях освещения фона и положениях наблюдателя, наилучшей читаемостью обладают проекционные индикаторы, за ними следуют многокатодные и значительно уступают двум названным типам индикаторы с боковой подсветкой.

Экспериментальное сопоставление читаемости цифровых индикаторов с цельным и сегментным образованием цифр показало, что читаемость цельных цифр выше, чем сегментных (представленных вертикально или с наклоном в 15°). Существенного разли-

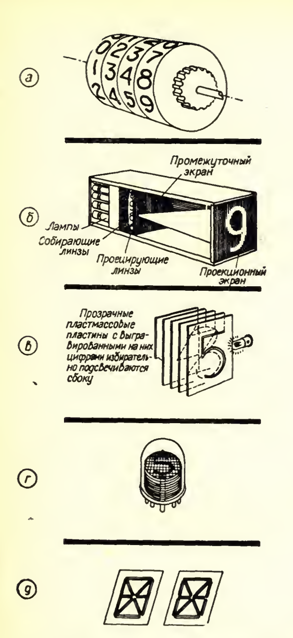



Рис. 7.7. Технические способы предъявления цифровой информации: а) барабанный счетчик, б) проекционный прибор, в) прибор боковой подсветки, г) электронная многокатодная лампа-индикатор, д) матричный цифровой индикатор (по У. Вудсону и Д. Коноверу).

чия в читаемости между вертикальными и наклонными сегментными цифрами не обнаруживается.

Для удовлетворительного считывания показаний счетчиков требуется в среднем 0,5 с, достаточно же надежное считывание счетчиков всех типов достигается при времени их экспозиции более 1 с. Однако, если требуется особо быстрое считывание, предпочтительнее оказываются цельные цифры.

Существенный недостаток сегментных шкал заключается в возможности сильных искажений и ошибочных отсчетов цифр в случае выхода из строя некоторых сегментов. Здесь возникает отдельная проблема выбора такого числа сегментов и формы цифр, при которых невключение отдельных сегментов в наименьшей степени сказывалось бы на правильности опознания цифр. Отметим при этом, что верхняя часть цифры информативнее нижней и ее искажения сильнее сказываются на точности отсчетов.

Другим фактором, усложняющим отсчеты сегментных индикаторов, является различие в расстоянии между отдельными цифрами при отображении трех- и более значных цифр (к примеру, интервал между двумя цифрами «1» будет больше, чем между двумя цифрами «4»). В связи с этим могут иметь место и ошибки при отсчетах цифр с десятыми долями, отделенными запятой. Так, например, при коротких экспозициях цифра 11,4 может ошибочно восприниматься как 1,14.

Рассматривая стрелочные и цифровые индикаторы, следует также указать, что отдельные арабские цифры характеризуются различной читаемостью. Так, было экспериментально установлено, что цифры, образованные прямыми линиями (1, 4, 7), распознаются точнее, чем цифры с кривыми линиями, особенно сходные между собой (6, 8, 9). При ухудшении условий восприятия именно при распознавании последних обнаруживается наибольшее число ошибок. Поэтому желательно, чтобы форма начертания таких цифр подчеркивала их различие.

Немаловажным фактором, обусловливающим читаемость цифровых, а также стрелочных индикаторов, является соотношение между цветом шкалы, с одной стороны, и цветом нанесенных на нее символов и стрелки — с другой. Опыты показали, что при чтении шкал с белыми цифрами и стрелками на темном фоне человек допускает меньше ошибок и меньше утомляется, чем при восприятии черных цифр и стрелок на светлом фоне.

Заключая краткий обзор стрелочных и цифровых индикаторов, следует высказать одно принципиальное замечание по поводу метода оценки их читаемости. Все изложенные в данном параграфе результаты были получены традиционными методами экспериментальной психологии, направленными на оценки пороговых характеристик — предельных скоростных и точностных возможностей человека по восприятию информации с данного

индикатора. Именно такие предельные возможности использовались здесь в качестве критериев при сопоставлении и оценке степени соответствия различных шкал. Такой подход был основан на следующем предположении: если при предельных условиях данная шкала считывается лучше, то тем более она будет лучше считываться и при обычных, простых условиях деятельности. Однако данное предположение является весьма спорным.

При анализе в гл. V точности восприятия приборной информации было установлено, что оператор считывает показания индикатора с той точностью, которая диктуется решаемой задачей, что ему, как правило, не требуется снимать показания с максимально возможной точностью. На основе требований задачи и опыта работы оператор приходит к некоторым более грубым — эксплуатационным мерам дискретности, с которыми он считывает показания прибора и которыми оперирует при решении задач управления. И совсем *не обязательно, чтобы шкала, пригодная для наиболее точных отсчетов, оказалась лучшей и для считывания показаний с требуемой по условиям задачи мерой дискретности.* Излишняя детализация шкалы может оказаться только помехой для выполнения более грубых отсчетов. Правда, иногда, например при диагностировании причины отказа техники, оператору могут потребоваться несколько более точные, чем обычно, измерения данного параметра. Однако в подобном случае, как правило, не нужна предельно высокая точность, о которой шла речь в изложенных выше подходах. При оценке пригодности индикаторов нельзя забывать и тот факт, что операторы взаимодействуют не с отдельными изолированными индикаторами, а с информационной моделью, где точность предъявления отдельных сообщений должна согласовываться с точностью других сообщений в общем потоке информации.

Все эти замечания не опровергают результатов изложенных выше опытов по относительной оценке достоинств стрелочных и цифровых индикаторов, однако позволяют предположить, что более *полные и достоверные оценки индикаторов по их практическому применению могут быть получены при рассмотрении их характеристик в связи с реальными задачами, для решения которых они используются.*

## VII.3. ИНДИКАТОРЫ, ПЕРЕДАЮЩИЕ ИНФОРМАЦИЮ В ФОРМЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Индикаторы такого типа, как уже отмечалось, встречаются реже, чем стрелочные или цифровые, поскольку они значительно сложнее по конструкции, дороже и использование их не всегда целесообразно. К тому же подобные индикаторы, передавая в виде образа информацию о данном свойстве объекта, обычно не показывают при этом его количественных мер.

Однако *наглядность* представления информации и возможность отображения в миниатюре целого *комплекса взаимосвязанных свойств* объекта создает таким индикаторам большие преимущества перед остальными. В картинном индикаторе посредством сигнала воспроизводится целый ряд взаимосвязанных признаков объекта (например, его форма, составляющие ее элементы, их отношение и пр.). Благодаря наличию сходства между признаками объекта и признаками сигнала на индикаторе *облегчаются условия декодирования* таких сигналов и распознавания стоящих за ними свойств объекта. Все эти качества являются, с точки зрения инженерной психологии, существенными достоинствами данных индикаторов.

Особенно ценной картинная индикация оказывается при передаче сообщений о положении объекта в пространстве. Весьма показателен в этом смысле самолетный прибор авиагоризонт — электромеханический индикатор, который выдает летчику информацию о положении самолета в пространстве. Один из подобных приборов изображен на рис. 7.8. На его передней панели представлен «силуэтик» самолета на фоне линии, отображающей горизонт. Поле прибора над этой линией символизирует небо и окрашено в голубой цвет, а поле ниже этой линии — коричневого цвета и обозначает землю. С изменением угла тангажа (угла наклона продольной оси самолета) линия горизонта на индикаторе будет соответственно опускаться или подниматься, создавая картину полета самолета в небо (на голубую часть шкалы) или на землю (на коричневую). При накренении самолета «силуэтик» будет поворачиваться относительно линии горизонта, и на шкале прибора отобразится картина полета с креном. Существенное достоинство авиагоризонта заключается и в том, что, наряду с картинной информацией, на нем представляются также количественные показатели углов тангажа и крена самолета.

В связи с авиагоризонтом следует обратить внимание на один принципиально важный вопрос, касающийся выбора способа индикации пространственного положения движущегося объекта. Здесь возможно использовать два разных принципа индикации: давать оператору «картинку», отображающую *вид с движущегося объекта на окружающее пространство,* или же, наоборот, отображать на приборе *вид на объект при наблюдении его извне.* Как показывает опыт, от выбора того или иного типа индикации зависит надежность работы операторов водительского профиля. Подобный выбор обычно осуществляется на основе сложившихся у операторов данной специализации навыков ассоциаций. Здесь важно установить, какими представлениями им более свойственно оперировать. Очевидно, те образы, с которыми у операторов имеются навыки работы, будут распознаваться по показаниям индикатора быстрее и легче.

Следует отметить, что относительно шкалы авиагоризонта пока нет установившейся точки зрения о предпочтительности

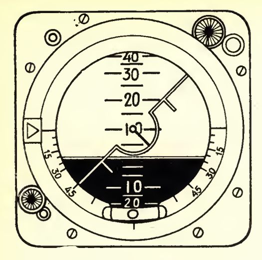



Рис. 7.8. Шкала авиагоризонта. Прибор показывает, что самолет набирает высоту с левым креном 45°.

того или иного типа индикации. На рис. 7.8 представлен прибор, на котором информация отображается по принципу «вид на объект» извне. Однако существуют и авиагоризонты, где используется изображение, построенное по принципу «вид с объекта». Летчики обычно адаптируются к тому и другому способу представления информации. Однако существует мнение, что предпочтительнее все же индикаторы, отображающие «вид на объект». Такое предпочтение можно объяснить тем, что в процессе наземного теоретического обучения (аэродинамике, теории полетов и прочим летным дисциплинам) у будущих летчиков формируются навыки оперирования образами «вид на объект». Подобными образами они постоянно оперируют на земле и впоследствии (при постановке задачи на полет, разборе полетов и т. п.). Поэтому по типу ассоциаций «вид на объект» у летчиков, вероятно, складываются более прочные навыки. Касаясь данного вопроса, следует отметить особую опасность, которая возникает с переходом оператора от использования приборов одного типа к приборам с обратным типом индикации. Как показывает опыт, несмотря на длительные тренировки, у операторов в подобных случаях часто возникают ошибки интерференции навыков, когда прежний, более прочный навык проявляется в условиях, где он уже неприменим. Они оказываются особенно характерными для экстремальных ситуаций, в которых внимание оператора концентрируется на возникшей задаче и снижается сознательный контроль над управляющими действиями.

В последние десятилетия с развитием радиоэлектроники для создания индикаторного картинного отображения информации

стали широко использоваться *электронно-лучевые трубки.* Остановимся кратко на основных особенностях восприятия оператором информации с экрана такого индикатора.

Изображение на экране электронно-лучевой трубки образуется из большого числа светящихся точек. Обычно наряду с полезными сигналами здесь возникают «засветки» от помех, которые могут «забивать» полезные сигналы или, наоборот, ложно восприниматься как полезные. Поэтому при создании и использовании подобных индикаторов особенно актуальной является проблема зрительного обнаружения полезного сигнала на фоне помех.

Экспериментально установлено, что вероятность обнаружения полезного сигнала (цели) на экране электронно-лучевой трубки зависит главным образом от следующих внешних факторов: размера и яркости отметки, яркости фона экрана, уровня помех на нем, периода нахождения сигнала на экране, внешнего освещения. Она зависит также от индивидуальных возможностей оператора и, в частности, от навыков обнаружения, от его установок, от уровня зрительной адаптации и пр.

Существует некоторое минимальное — пороговое значение величины и яркости отметки (цели), когда она может быть обнаружена на экране при данной яркости, силе внешнего освещения и существующих помехах. Уровнем помех оператор обычно не способен управлять, однако общую яркость экрана, масштаб отображения и внешнее освещение он может изменять таким образом, чтобы снизить указанные пороговые характеристики и благодаря этому облегчить условия обнаружения полезного сигнала.

На основе экспериментального изучения возможностей оператора по обнаружению сигнала при различных условиях работы выявлен ряд закономерностей. Так, установлено, что наибольшая чувствительность оператора к обнаружению контрастов на поле индикатора достигается при одинаковой яркости поля индикатора и окружающего фона. При таком сочетании освещенностей адаптация глаза при обзоре экрана и других объектов деятельности вне его остается неизменной. Когда внешняя освещенность оказывается выше, различимость цели на экране индикатора понижается особенно сильно.

Доказано, что при равномерном распределении во времени помех на площади экрана обнаружение полезного сигнала облегчается по сравнению с условиями его обнаружения при неравномерном распределении помех. Такой результат объясняется не только тем, что во втором случае сильная помеха может скорее «забить» полезный сигнал, но и тем, что равномерно светящийся экран снижает абсолютный порог светоощущения сетчатки глаза для отдельных точечных сигналов.

Наряду с задачей обнаружения сигнала, для отдельных операторов весьма актуальной оказывается и задача слежения за

его перемещением по экрану индикатора. В связи с этой задачей возникла необходимость оценки порогов зрительного восприятия скорости движения отметки по экрану индикатора. Было установлено, что нижний порог зрительного восприятия скорости движения отметки равен примерно 1—2 угловым минутам в секунду в тех случаях, когда движущаяся точка оценивается относительно подвижной отметки; при отсутствии такой отметки на экране этот порог возрастает до 15—30 угловых минут в секунду. Пороги различения изменения скорости прямолинейного движения точки на экране оказались зависимыми и от исходной скорости ее движения. Проблема обнаружения цели на экране радиолокатора имеет большое прикладное значение, она изучалась в разнообразных исследованиях, позволивших установить функциональные и количественные связи между указанными выше параметрами восприятия сигналов с экранов электронно-лучевых трубок, параметрами целей, помех и вероятностей своевременного обнаружения цели [11].

Электронно-лучевые трубки в автоматизированных системах применяются не только для непосредственного образного представления отдельных показателей состояния объекта, но и для специальной имитации соответствующих «картин», наглядно отображающих взаимосвязь целых комплексов таких показателей. В качестве примера подобной системы индикации можно привести индикатор профиля полета, предназначенный для использования при заходе на посадку. На большом экране (рис. 7.9) изображена картина положения самолета в вертикальной плоскости относительно заданной траектории снижения, представленной сплошной линией. Фактическое перемещение самолета изображается на экране штриховой линией (длина штриха показывает величину ускорения самолета вдоль этой траектории). На линии отсчета появляется отметка, указывающая текущую дальность самолета до полосы. Цифра «10» означает масштаб шкалы (отметка «X» напоминает, что задан режим, где смена масштаба осуществляется автоматически). Данный прибор является *ситуационным индикатором:* на нем представлен образ, который так отображает сложившуюся ситуацию, что оператор получает наиболее существенные для него сведения о ней. Из этого образа вытекает представление не только о фактическом положении самолета, но и о развитии данной ситуации по разным параметрам, облегчающее оператору предвидение результатов его отдельных действий.

Электронно-лучевые индикаторы могут отображать состояние объекта только в одной плоскости, что существенно сокращает возможности использования таких устройств для передачи сооб-

[11] Эти сведения и их количественный анализ представлены в книге Г. П. Попова «Инженерная психология в радиолокации» (М., 1971. 143 с.). Некоторые данные по этому вопросу приведены также в книге «Инженерная психология. в применении к проектированию оборудования» (М., 1971, с. 96—100).

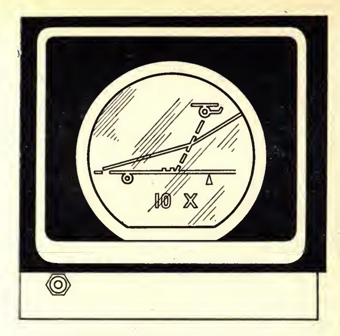


Рис. 7.9. Шкала картинного ситуационного индикатора профиля полета.

щений о *трехмерном пространстве.* Поэтому для создания у оператора представлений об *объемных* характеристиках объекта иногда применяются два таких индикатора: один отображает состояние объекта в горизонтальной плоскости, а другой — в вертикальной. Однако такое решение не обеспечивает достаточной наглядности представления трехмерного пространства, поэтому предпринимаются попытки создания индикаторов, дающих непосредственно трехмерное изображение. Можно выделить ряд основных методов, которые сейчас используются для решения этой задачи:

— метод псевдообъемного отображения, использующий эффект бинокулярного зрения или иллюзорного объема;

— метод моделирования объема;

— метод создания истинно объемных изображений.

Для технического решения задачи методом бинокулярного зрения применяются различные модификации стереоскопических и стереотелевизионных систем. Метод иллюзорного объема может быть реализован на основе использования законов линейной перспективы. Однако указанные методы довольно трудно практически применить в автоматизированной системе управления, поскольку одни из них требуют жесткой фиксации оператора на рабочем месте, другие — использования специальных очков.

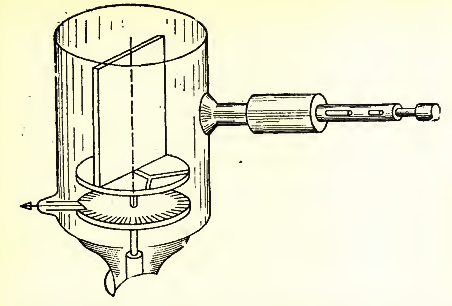


Рис. 7.10. Принцип работы индикатора трехмерного изображения с вращающимся экраном.

Для создания иллюзорного объема может применяться и голографический метод объемной передачи информации, основанный на использовании эффекта интерференции световых волн на фотопленке. Этим методом можно создавать объемные изображения как реально существующих объектов, так и синтезировать такие изображения (например, на основе данных ЭВМ).

Для моделирования объема существуют различные технические решения, основанные на использовании механических, электрических и электронных методов. К ним относится, в частности, объемный индикатор, построенный на электронно-лучевой трубке с вращающимся экраном [12]. Принцип действия такого индикатора заключается в создании изображения при пересечении электронным лучом поверхности вращающегося экрана, покрытого люминофором (рис. 7.10).

Истинно объемные изображения могут создаваться либо посредством специальных многослойных систем объемной индикации, образованных объемными наборами плоских информационных панелей, либо с помощью наполненных газом или жидкостью пространств, в отдельных участках которых вызывается локали-

[12] Бушурова В. Е., Филаретов Ю. С. О некоторых проблемах восприятия изображения в объемном индикаторе. — В кн.: Проблемы инженерной психологии. Материалы II Всесоюзной конференции по инженерной психологии, вып. 2. М., 1968, с. 284—293.

зованное свечение. Практической реализации трехмерного индикатора, очевидно, должны предшествовать соответствующие инженерно-психологические исследования характеристик восприятия объемных изображений и возможностей их практического использования.

## VII.4. ПРИБОРНЫЕ ПАНЕЛИ

Конструирование приборных панелей заключается в разработке таких технических средств, которые позволяют организовать общий поток информации, адресованной оператору, и придать ему структуру, способствующую разрешению возникающих у него задач.

Для организации потока зрительной информации прежде всего необходимо знать *характеристики пространственного видения оператора.* По этому вопросу уже накоплены некоторые экспериментальные данные. Принято считать, что полное поле зрения оператора охватывает в вертикальной плоскости пространство порядка 70° ниже и 60° выше уровня глаз, а по горизонтали — до 60° в ту и другую сторону от средней плоскости тела. В пределах этого пространства оператор может контролировать приборную панель за счет перемещения глаз. Именно в этом поле зрения и желательно устанавливать индикаторные приборы. С ухудшением условий восприятия (с уменьшением освещения или времени обзора) поле зрения концентрически сужается и при экспозиции в 0,2 с составляет всего 18°.

Вопрос о точности и скорости отсчетов показаний приборов на приборных панелях исследовался А. Ф. Пахомовым и А. М. Измаильцевым [13]. Авторы установили, что с удалением прибора от центра поля зрения точность и скорость его отсчетов падает (рис. 7.11, *б*). Они выделили две области приборной панели.

I. В первой области оператор видит периферическим зрением стрелки всех приборов, в связи с чем зрительные оси всегда поворачиваются в направлении того прибора, показания которого изменились. Здесь за счет установочных движений глаз прибор попадает в центральную зону зрения.

II. Во второй области наблюдатель не видит приборов, поскольку они расположены за пределами поля, в котором человек способен различать форму предметов. Прежде чем отсчитать показания прибора, расположенного в этой области, оператору приходится совершать поисковые движения глазами. Этим объясняется резкое увеличение времени отсчетов приборов при удалении их от центра. Исходя из полученных данных, авторы опре-

[13] Пахомов А. Ф., Измаильцев А. М. Экспериментальные исследования по рациональному размещению индикаторных устройств в поле зрения оператора. — В кн.: Проблемы общей и индустриальной психологии. Л., 1963, с. 121—131.

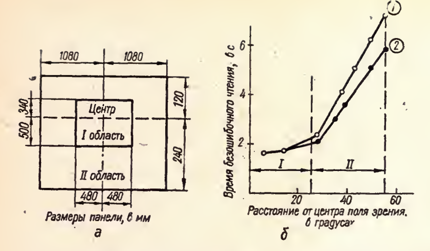



Рис. 7.11. Характеристики приборной панели и отсчетов ее индикаторов (по А. Ф. Пахомову и А. М. Измаильцеву): а) оптимальные размеры панели; б) характеристики времени безошибочного отсчета как функции расстояния прибора от центра поля зрения (1 — время отсчетов приборов в левой части панели, 2 — время отсчетов приборов в правой части панели).

делили границы первой и второй области для дистанции отсчетов в 800 мм (рис. 7.11, *а*).

На основе сказанного можно заключить, что при компоновке приборных панелей индикаторы, требующие наибольшего контроля, следует устанавливать в центральной зоне приборной панели, поскольку в этой зоне оператор быстрее и точнее отсчитывает приборы. Периферическая часть поля зрения характеризуется высокой чувствительностью к движениям и мельканиям раздражителя. Поэтому на крайних участках приборной доски целесообразно размещать индикаторы, выдающие информацию подобного типа, адресованную периферическому зрению.

Обычно используются плоские приборные панели. Однако существует мнение, что более выгодно располагать приборы на внутренней стороне сферической поверхности, ибо тогда перевод взгляда с одного прибора на другой не требует конвергентной [14] установки зрения и время отсчетов приборов оказывается меньшим.

При компоновке индикаторов на приборных панелях необходимо учитывать *уровень приоритета индикаторов*. Выделим некоторые основные критерии, по которым может быть установлен подобный приоритет:

---

[14] Конвергенция (от лат. convergo приближаюсь) — способность глаз при восприятии близких предметов нацеливаться на точки определенного удаления.

— роль индикатора в достижении цели деятельности,
— цена ошибки оператора при использовании индикатора,
— частота использования индикатора,
— степень срочности использования выдаваемых им данных,
— надежность работы индикатора.

Критериями компоновки индикаторов могут служить также следующие факторы: идентичность (сходство) информации, наличие логической связи между содержанием выдаваемых сообщений, совместное использование индикаторов, соответствие их размещения пространственному положению технических устройств, о которых они выдают информацию, установившиеся стандарты или навыки операторов.

Особое внимание при компоновке приборных панелей уделяется размещению аварийных индикаторов, которые должны устанавливаться в таких местах, где обеспечивается быстрое и легкое обнаружение сигналов. Однако при этом следует учитывать и то обстоятельство, что операторы часто могут обнаруживать нарушения в работе системы и по обычным средствам индикации, причем даже раньше, чем сработает аварийная сигнализация.

При компоновке приборных пультов следует *различать командные индикаторы и приборы контрольного чтения*. Первые представляют интерес для оператора как при нормальном течении управляемого процесса, так и при его нарушениях. Они выдают команды к непосредственному действию, поэтому всегда должны быть в поле зрения оператора. Контрольные же приборы представляют интерес для оператора главным образом при возникновении нарушений в работе системы. Поэтому при обычном нормальном процессе функционирования системы информация отдельных контрольных индикаторов не должна выделяться. Сообщения, поступающие от совокупности подобных приборов, должны образовывать некоторые единые, равномерно нагруженные зрительные структуры. И только в случае возникновения нарушений по отдельным параметрам эта информация должна резко выделяться на фоне таких структур.

Примером такой организации может служить группа контрольных индикаторов, отражающих изменение температурного режима в различных зонах печи хлебозавода (рис. 7.12). Допустимые отклонения температуры в каждой зоне ограничены двумя красными индексами в верхней части шкалы (они устанавливаются оператором посредством верхней ручки), фактическую температуру указывает нижний индекс. Показания этих индикаторов воспринимаются в виде единого образа, нижние индексы которого составляют как бы участки некоторой наклонной прямой, заключенной в границы параллельных линий, образованных верхними индексами. Отклонение температуры в любой зоне за допустимые пределы нарушает этот образ и легко воспринимается оператором.

Другим подобным примером может служить специальный

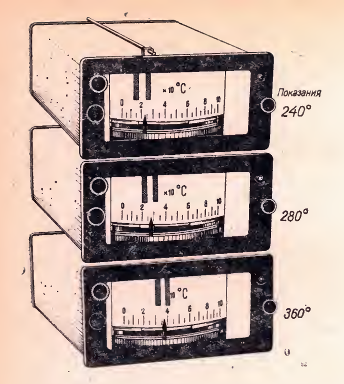



Рис. 7.12. Группа контрольных приборов, измеряющих температурные режимы на различных этапах технологического процесса выпечки хлеба.

щит, на котором размещены приборы, контролирующие параметры режима работы силовых установок (рис. 7.13). На каждой из четырех таких однотипных установок измеряется четыре параметра. Приборы на щите расположены таким образом, что каждый вертикальный ряд относится к одной силовой установке, а каждый горизонтальный ряд предназначен для измерения определенного параметра. Шкалы всех индикаторов проградуированы таким образом, чтобы, при нормальных значениях параметра, стрелка на шкале устанавливалась в положение «9 часов». Поэтому при заданном нормальном режиме работы всех силовых установок стрелки на всех 16 индикаторах стоят горизонтально, образуя четыре ряда горизонтальных штриховых линий. При такой индикации, как видно из рисунка, одним взглядом обнаруживается сигнал о нарушении, после чего по соотнесению рядов определяются установка и параметр, отклонившиеся от нормы.

Структура организации информационного потока приборной информации должна избираться таким образом, чтобы по возможности облегчать оператору решение сложных мыслительных

Рнс. 7.13. Пример расположения индикаторов контрольного отсчета на приборной панели.

задач и проблемных ситуаций, возникающих в системе управления. На основе оценок степени сложности использования тех или иных вариантов компоновки приборных пультов для решения таких задач можно судить об уровне совершенства организации их информационных потоков. Подобные оценки могут давать опытные операторы—эксперты, их можно выводить и косвенно — экспериментальным путем, по результатам практического использования разных вариантов компоновки приборных пультов.

При адаптации структуры информационного потока к решению отдельных типовых задач управления следует учитывать некоторую двойственность эффекта такого приспособления. С одной стороны, подобное приспособление будет, естественно, создавать лучшие условия для работы оператора и тем самым способствовать более надежному решению этих часто встречающихся задач.

С другой же стороны, это будет вести к выработке стереотипов мышления, в результате чего оператор может принять другую, но сходную задачу за типовую и применить к ней непригодный в данном случае стереотипный способ действий. Поэтому при компоновке приборного пульта и организации структуры информационного потока важно не столько приспосабливать его к решению типовых задач, сколько создавать такое информационное обеспечение, при посредстве которого оператор сможет гибко адаптироваться к разрешению разнообразных задач управления.

При разработке приборных пультов стоит задача не только рационального размещения на них индикаторов, но и **уменьшения габаритов** таких пультов. Решение этой задачи посредством уменьшения габаритов приборов, как уже отмечалось, оказывается не всегда приемлемым. Некоторые авторы [15] предлагают использовать *принцип сменных индикаторов,* основанный на высвечивании по запросу оператора шкалы интересующего его

---

[15] Бойко Н. И., Даревский С. Г., Завьялов Е. С. и др. К вопросу об использовании электронно-лучевых трубок в качестве многофункциональных индикаторов. — В кн.: Инженерная психология в приборостроении. М., 1967, с. 40—42.

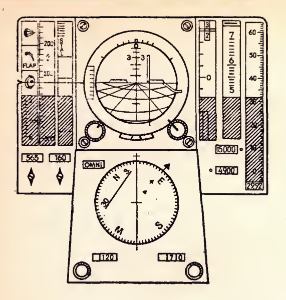



Рис. 7.14. Интегральная приборная панель с вертикальными шкалами.

индикатора на экране электронно-лучевой трубки. Однако такой путь сложен для технической реализации, к тому же оператору для решения задачи зачастую удобнее видеть перед собой одновременно несколько индикаторов, наблюдать динамику изменения отдельных параметров и соотносить эти данные.

Более целесообразно задачу уменьшения габаритов приборных пультов решать посредством создания так называемых *интегральных индикаторов* — источников совмещенной и объединенной информации о целом комплексе параметров системы. Особая нужда в подобных компактных приборах имеется в авиации. На рис. 7.14 изображен один из таких индикаторов. Около основного прибора — директорного авиагоризонта — расположены ленточные вертикальные шкалы, на которых выдаются данные о различных параметрах режима полета (скорости, высоте и т. п.). Эти шкалы построены и проградуированы таким образом, что при нормальном режиме полета индексы всех этих контрольных указателей располагаются на одном уровне и воспринимаются в виде единой горизонтальной штриховой линии. Отклонение любого параметра от нормы нарушает эту форму и привлекает внимание летчика. На том же приборе, несколько ниже, смонтирована шкала указателя курса, под которой предусмотрены окна для выдачи навигационных данных. Вся эта система индикации, представляющая собой один прибор, облегчает формирование у оператора единого образа, отражающего комплекс основных параметров режима полета.

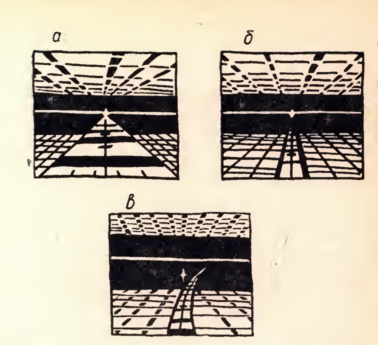



Рис. 7.15. Изображение параметров режима полета на экране «коналога»: а) картина полета с заданным курсом и высотой; б) картина полета с заданным курсом, но на высоте, превышающей заданную; в) картина, возникающая при отклонении самолета вправо от заданного курса и на высоте, превышающей заданную.

Весьма удобными для использования являются интегральные индикаторы, условно названные контактными аналогами (*«коналогами»*)[16]. Они обеспечивают оператора наглядной информацией о сложившейся ситуации и создают эффект его непосредственного участия в ней. Подобные индикаторы обычно предназначаются для передачи информации об изменении положения управляемого объекта в пространстве и используются на самолетах, подводных лодках. На приборе такого типа (рис. 7.15) выдается в наглядной форме информация о движении самолета, которая фактически заменяет показания восьми отдельных индикаторов. Направление полета на экране «коналога» представлено в виде уходящей к горизонту « дороги» — светлой полосы, разделенной темными линиями, которые, набегая на летчика, создают эффект определенной скорости полета. Сохранение заданного направления заключается в удержании объекта на полосе лежащей перед ним «дороги». На рис. 7.15, *а, б, в* пред-

**[16] Описание «коналога» и других современных индикаторов, передающих оператору информацию о положении летательного аппарата в пространстве и о режимах его работы, дано в книге В. Г. Денисова и В. Ф. Онищенко «Инженерная психология в авиации и космонавтике» (М., 1972. 314 с.).**

ставлены картины, возникающие на экране «коналога» при различных отклонениях режима полета от заданного. Данный индикатор является не только интегральным, но и ситуационным, поскольку представляемая им информация, разносторонне отражая состояние объекта, указывает и динамику развития этого состояния, подсказывая таким образом оператору упреждающие действия, необходимые для выполнения заданной программы.

## VII.5. МНЕМОСХЕМЫ

### VII.5.1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ МНЕМОСХЕМ

Мнемонические схемы (от греч. mnēmē — память), или, как их принято сокращенно называть, мнемосхемы, являются условным изображением технологической или функциональной структуры управляемого объекта, представленным на панели пульта оператора с помощью символов, а иногда и отдельных параметров на шкалах индикаторов. В автоматизированных системах подобные схемы обычно дополняют приборные пульты.

Мнемосхемы можно расценивать как средство, специально приспособленное для отображения в простой и наглядной форме путей и возможностей деятельности оператора при решении задач управления. В то же время, являясь упрощенными моделями управления, они выступают и в качестве средств, *разгружающих память оператора* (отсюда и корень «мнемо») от запоминания всех необходимых ему для работы элементов и связей системы управления, выступают в качестве зрительной *опоры его мыслительной деятельности.*

Мнемосхемы можно рассматривать и как средство, помогающее человеку-оператору принимать решения по задачам управления. Такие схемы используются для *облегчения работы оператора* при управлении сложными производственными процессами с большим числом переменных параметров или же при управлении объектами со сложной или быстро меняющейся структурой, где трудно запоминать и учитывать все значения и связи переменных.

Особенно полезными мнемосхемы оказываются для случаев, когда появляется необходимость *анализировать непредвиденные ситуации,* возникающие в системе управления, когда приходится оценивать состояние объекта и принимать решение при неполной информации о нем. Поэтому они широко используются в целях технической диагностики — для облегчения анализа различных нарушений и выбора оптимальных способов действия в аварийных ситуациях.

Мнемосхемы являются также средством, *направляющим деятельность* оператора на контроль определенной последова-

тельности процессов, протекающих в системе, на контроль наиболее существенных и ответственных узлов и связей системы, акцентируя внимание оператора на ее узких местах.

В настоящее время разработано большое число различных типов мнемосхем, отличающихся по назначению, принципу построения, конструктивным признакам и т. п. Поэтому возникает необходимость в их специальной классификации. Приведем вариант такой классификации, предложенный В. Ф. Вендой и А. А. Митькиным [17].

1. Исходя из **функции операторов**, которым адресованы мнемосхемы, последние могут подразделяться на *операторские* и *диспетчерские*. Их различие обусловлено прежде всего различием в структуре деятельности операторов того и другого типа — масштабностью ее охвата и степенью детализации оперативных единиц. Если операторская мнемосхема сосредоточивается на функционально-оперативной или технологической структуре одного технологического комплекса, одной системы, то диспетчерская мнемосхема охватывает функционально-оперативную взаимосвязь многих таких объектов, рассредоточенных в пространстве. Операторские мнемосхемы включают в себя единицы, детализированные до уровня отдельных элементов, параметров, связей функционирования данного технического комплекса. Диспетчерские же мнемосхемы используют в качестве оперативных единиц целые технические системы, каждая из которых обычно управляется своим оператором. Так, например, мнемосхема на пульте управления машиниста локомотива является схемой операторского типа, а мнемосхема диспетчера, управляющего движением локомотивов на железнодорожном участке, — схемой диспетчерского типа.

2. По **форме предъявления информации** мнемосхемы делятся на схемы *дискретного, непрерывного* и *непрерывно-дискретного* типа. На мнемосхеме дискретного типа изменения в объекте изображаются посредством дискретных сигналов (загорания сигнальной лампочки, ее цвета, включения табло и т. п.). На мнемосхемах с отображением непрерывного изменения состояния или процесса управления информация выдается с помощью стрелочных индикаторов, электронно-лучевых трубок, плавно меняющейся яркости подсвета и т. п. Схемы непрерывно-дискретного типа, использующие оба типа индикации, оказываются наиболее универсальными и имеют наибольшее распространение. В подобных схемах возможно, например, посредством непрерывного отображения изменения состояния управляемого объекта готовить оператора к появлению значимого для него дискретного сигнала.

3. По **способу кодирования информации** мнемосхемы можно разделить на *абстрактные* и *ассоциативные*. На первых состоя-

[17] Эргономика. Принципы и рекомендации, вып. 1. М., 1970, с. 91—95.

ние объекта передается с помощью абстрактных знаков, не сходных с отображаемыми элементами или свойствами объекта (здесь часто используются стандартизованные обозначения, принятые для чертежей). Подобные абстрактные мнемосхемы используются сравнительно редко. Чаще применяются ассоциативные мнемосхемы, на которых знаки по форме напоминают отображаемые показатели состояния объекта или его свойства. Однако и при ассоциативном представлении информации обычно включаются абстрактные символы для уточнения отдельных деталей объекта, передачи данных о значении отдельных параметров и их связи с другими элементами мнемосхемы.

4. По **изменению предъявляемой информации** мнемосхемы можно разделить на *постоянные* и *сменные*. В первом случае оператор работает с одним и тем же отображением схемы, где могут фиксироваться только отдельные изменения состояний объекта. Во втором случае на мнемосхеме предусматривается смена целых «картин», в соответствии с изменением режима работы объекта (например, вначале дается изображение схемы запуска системы, затем схемы номинального режима; если требуется, то дается детальная схема участка, на котором возникло нарушение и т. п.).

5. По **возможностям оператора воздействовать на информацию**, предъявляемую на мнемосхемах, последние делятся на *управляемые* и *неуправляемые*. На управляемых мнемосхемах предусматриваются специальные встроенные в нее элементы управления, позволяющие самому оператору видоизменять «картину» мнемосхемы: вызывать дополнительную информацию, представлять информацию в более обобщенной или более детализированной форме, в случае необходимости — согласовывать мнемосхему с фактическим состоянием управляемого объекта и т. д.

Разновидностью управляемых мнемосхем могут быть *многообъектные* схемы. Последние используются в тех случаях, когда мнемосхема обслуживает целый ряд однотипных объектов или один технический объект, имеющий несколько одинаковых участков или устройств. В таких многообъектных мнемосхемах предусматривается выведение, по запросу оператора, на переднюю панель данных от любого интересующего его объекта или устройства. Использование многообъектных мнемосхем с вызовом отдельных данных позволяет уменьшить размеры мнемосхемы и концентрировать ее в центральном поле зрения.

6. По **конструктивному выполнению** мнемосхемы можно подразделить, с точки зрения их объемности, на *плоские, рельефные* и *объемные*. Наибольшее распространение получили плоские схемы, поскольку эффект объемности не всегда способствует лучшему восприятию таких схем (например, из-за появления теней), к тому же объемные схемы сложнее и дороже в изготовлении.

По конструкции мнемосхемы делятся, кроме того, на мимические, световые и комбинированные. На *мимических* схемах смена состояний объекта иллюстрируется посредством механических указателей (поворотов заслонок, секторов, стрелок и т. п.). На *световых* мнемосхемах такие изменения отображаются путем изменений цвета, яркости свечения, конфигураций светового пятна. На наиболее распространенных *комбинированных* мнемосхемах используются оба способа отображения информации.

Световые схемы, в свою очередь, делятся на схемы с прямым и обратным контрастом. Мнемосхемы с *прямым контрастом* (темные знаки на белом фоне) более универсальны и при хорошей освещенности предпочтительнее. Мнемосхемы с *обратным контрастом* (световые знаки на темном фоне) применяются в тех случаях, когда требуется сохранять темновую адаптацию оператора. В принципе же мнемосхема должна сохранять тот же контраст, который используется на информационной модели и пульте оператора.

Световые мнемосхемы могут различаться по конструкции отображающих их устройств и подразделяются с этой точки зрения на проекционные, электролюминисцентные, телевизионные и пр.

7. По **месту расположения** мнемосхемы могут предназначаться для установки на отдельных панелях, для надстройки к приборному пульту, для размещения на самой рабочей панели пульта. Последний тип, из-за своих малых размеров и ограниченности предъявляемой информации, иногда называют микромнемосхемами.

## VII.5.2. ПОСТРОЕНИЕ МНЕМОСХЕМ

Мнемосхемы составляются обычно на основе упрощенных технологических чертежей. Однако между мнемоническими и технологическими схемами существует принципиальное различие. Технологическая схема является детальным отображением процессов, протекающих в технической части системы, и служит основой для создания рабочих чертежей и монтажных схем при конструировании и изготовлении системы. Мнемосхема же адресована специально человеку-оператору и предназначается для использования при контроле и управлении уже созданной и действующей системой. Поэтому *мнемосхема должна* прежде всего *отображать логику управления объектом с позиции деятельности оператора,* наглядно раскрывая перед ним *возможности разрешения* различных *задач управления, направляя его на путь оптимального решения.* Она должна играть роль некоторого промежуточного звена, способствующего, когда это требуется, *переводу информации с языка информационной модели на язык мыслительных образов.*

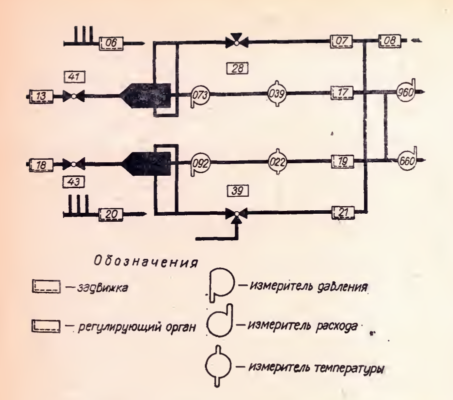



Рис. 7.16. Мнемосхема регулятора охладительной установки теплоэлектроцентрали, построенная непосредственно по технологическим чертежам.

На рис. 7.16 и 7.17 представлены в качестве примера две мнемосхемы редукционно-охладительной установки тепловой электроцентрали[18]. Первая схема (рис. 7.16) построена непосредственно по технологическому чертежу, вторая (рис. 7.17) — исходя из инженерно-психологических требований разработана Д. А. Ошаниным. Уже из одного внешнего сопоставления этих двух схем видно, что вторая схема воспринимается как более простая. Однако преимущества этой схемы раскрываются еще больше, если вникнуть в ее содержание.

Изображенная на мнемосхеме установка служит для снижения температуры и давления пара до заданного уровня. Пар с высокой температурой и давлением через задвижки 13 и 18 поступает к регулирующим органам 41 и 43, к охлаждающим эжекторам (темным фигурам на схеме), после чего доводится до требуемой нормы и через задвижки 17 и 19 отводится от

[18] Венда В. Ф. Средства отображения информации. М., 1969, с. 222—223.

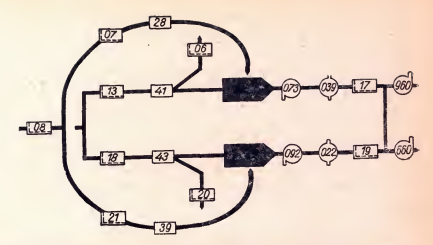



Рис. 7.17. Мнемосхема регулятора охладительной установки теплоэлектроцентрали, построенная с учетом требований инженерной психологии (по Д. А. Ошанину).

установки. Значения параметров пара контролируются манометрами (073 и 092) и термометрами (039 и 022), а расход пара — расходомерами (960 и 660). Избыточное давление пара отводится через заслонки 06 и 20. Охлаждающая вода к эжекторам подается по отдельным линиям через общую задвижку 08, задвижки в линиях (07 и 21) и регулирующие органы (28 и 39). Задвижки и регулирующие органы управляются оператором на основе показаний измерительных приборов.

Если теперь от описания работы системы вернуться к ее отображению на мнемосхеме (рис. 7.17), то нетрудно заметить, что две горизонтальные магистрали на мнемосхеме символизируют преобразование самого регулируемого предмета (пара), а дуги, охватывающие эти магистрали с двух сторон, отображают обслуживающие линии, посредством которых осуществляются эти преобразования. Задвижки имеют свое обозначение на схеме, органы, регулирующие давление, — свое. Символы, отображающие индикаторы, хорошо ассоциируются с измеряемыми параметрами (см. обозначения на рис. 7.16). Экспериментальная проверка использования той и другой схемы для решения практических задач показала, что по мнемосхеме, представленной на рис. 7.17, задачи решались значительно быстрее и лучше. Преимущества последней схемы особенно очевидны при решении более сложных задач управления. Однако вернемся к рассмотрению общих принципов построения мнемосхем.

Мнемосхема оказывается особенно полезной для начинающих операторов, которым еще не известны все типичные задачи, возникающие в данной системе, и оптимальные способы

их разрешения. Неопытные операторы, как показывает практика, не способны усматривать среди многих, часто разрозненных показателей работы системы единые инвариантные структуры, и поэтому при решении задач они используют большое число переменных параметров. Мнемосхемы же, специально приспособленные применительно к подобным задачам, как раз и объединяют все эти переменные в единые блоки и тем самым, с одной стороны, облегчают деятельность оператора, а с другой — обучают оператора и подсказывают ему более целесообразные пути мышления.

Для опытных операторов мнемосхема выступает в основном как источник обобщенной информации о существенных переменных работы системы, и только в сложных задачах они используют ее как опору мыслительной деятельности. Очевидно, все эти особенности использования мнемосхем должны быть учтены при их разработке.

*Мнемосхема является плодом коллективного труда инженеров, психолога и художника*[19]. На первом этапе инженерами (технологами, специалистами по автоматике, контрольно-измерительным приборам) и психологом производится анализ рассматриваемого процесса как такового в его «чистом виде». Здесь выявляются информационные элементы, наиболее важные в процессе управления. В дальнейшем тот же процесс управления рассматривается уже с позиции восприятия его оператором, с учетом функций оператора в этом процессе и его возможностей (как его положительного влияния на систему — парировать ее отказы, находить решение в ситуациях, не предусмотренных программой, так и отрицательного — ошибаться, вводить в систему неисправности и др.).

На этом этапе выявляются некоторые дополнительные факторы, определяющие деятельность оператора: некоторые новые задачи, которые ему приходится разрешать, трудности, которые могут возникнуть при их разрешении, возможные ошибки оператора, их последствия, а также возможности их предупреждения. Из анализа этих данных вытекает значимость для оператора отдельных задач, значимость отдельных действий. Выявляются операции, которые особенно влияют на результаты, где особенно велика цена ошибки. Все эти факторы специально выделяются и учитываются при разработке мнемосхемы.

Далее составляются эскизы мнемосхемы, на которых выделяются все указанные выше наиболее существенные для оператора элементы, связи, смысловые группы. Эти группы располагаются на схеме с учетом как логики функционирования управ-

[19] Общие принципы построения мнемосхем изложены в статье О. Н. Чернышевой «Методика подхода к конструированию мнемосхем с учетом требований инженерной психологии. (Материалы II Всесоюзной конференции по инженерной психологии, вып. 2. М., 1968, с. 255—265).

ляемого объекта, так и логики использования их при решении задач. Иногда приходится в одном блоке — элементе мнемосхемы — объединять ряд технических устройств, не вскрывая структуры их переменных и отражая только общий результат их действия. В то же время отдельные агрегаты, показатели работы которых учитываются при принятии решения, порой приходится представлять на мнемосхеме в виде нескольких блоков с демонстрацией значений их параметров.

Целью следующего этапа работы над мнемосхемой является выбор наиболее целесообразной компоновки схемы, обеспечивающей уменьшение числа линий и их пересечений, а также формализация изображений и символов. На этом этапе ведущую роль играет художник, который изыскивает наиболее наглядные формы и изображения элементов схемы и их связей; ему помогают своими консультациями инженер и психолог.

По вопросам разработки мнемосхем пока существуют только общие подходы и рекомендации. Каждую такую схему приходится строить на основе интуитивных соображений, вытекающих из конкретных данных системы и решаемых в ней задач. Поэтому построенные подобным эмпирическим путем мнемосхемы обычно нуждаются *в практической проверке*. Такие проверки осуществляются посредством специальных экспериментов с различными вариантами компоновки мнемосхем, к которым привлекаются люди, умеющие управлять рассматриваемой системой и разрешать возникающие в ней задачи. По показателям скорости и точности их действий выбирается оптимальный вариант компоновки схемы. Такова последовательность построения мнемосхем.

### VII.5.3. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАТОРА С МНЕМОСХЕМОЙ

Деятельность оператора при использовании мнемосхем является одной из весьма важных и в то же время мало изученных областей инженерной психологии. Некоторые данные о ее психологических особенностях были получены в экспериментальных исследованиях.

В одном из исследований [20], наряду с результатами деятельности испытуемых, фиксировались окулограммы движений глаз в процессе решения задач управления по отдельным вариантам мнемосхем. Было установлено, что закономерность движений глаз может служить показателем понимания испытуемым содержания мнемосхемы, а упорядоченность этих движений — показателем ее эффективности. По мере приобретения навыков в чтении и использовании мнемосхем испытуемые от неупорядоченного зрительного поиска переходят ко все более целенаправлен-

[20] Эргономика. Принципы и рекомендации, вып. 1 (М., 1970, с. 91—126) и вып. 4 (М., 1972, с. 95—105).

ному, упорядоченному и экономному построению движения глаз. Полученные данные могут служить подтверждением высказанного В. П. Зинченко[21] положения относительно того, что общие закономерности построения движения, установленные Н. А. Бернштейном (о них говорилось в гл. II), могут быть распространены и на организацию движения глаз.

Основной целью оператора при использовании мнемосхемы является выделение из общей суммы представленных на ней сведений только той информации, которая *релевантна* возникшей задаче, т. е. способствует нахождению оптимального пути ее разрешения. При этом он одновременно должен отстраиваться от всех прочих сведений, представленных на мнемосхеме, которые не являются необходимыми для решения данной задачи (иррелевантной информации). Следует учесть, что информация, представленная на мнемосхеме, может быть в одной задаче релевантной, а в другой, напротив, иррелевантной ей. А поскольку мнемосхема предназначается для решения большого комплекса различных задач, свойственных рассматриваемой системе управления, то на ней, естественно, оказывается представленной весьма разнообразная информация, как связанная, так и не связанная с данной конкретной задачей.

Поэтому оператору при использовании мнемосхемы приходится каждый раз выделять на ней необходимую ему информацию. Отсюда следует, что мнемосхема должна быть построена таким образом, чтобы в каждом случае облегчать оператору вычленение из нее нужных ему данных. Добиться этого не так легко, поскольку одни и те же элементы схемы, в зависимости от задачи, могут включаться в различные связи, образуя релевантную информацию из самых разнообразных комбинаций этих элементов на разных участках мнемосхемы. Для того чтобы легче выделялась необходимая оператору информация, в мнемосхеме должны специально создаваться условия, усиливающие сходство элементов и связей, выступающих в виде релевантной информации, и подчеркивающие их отличие от прочей иррелевантной информации.

Одним из средств выделения на мнемосхеме нужной оператору информации является кодирование соответствующих элементов и связей цветом или яркостью подсветки. Другим, более радикальным средством решения данного вопроса является использование сменных мнемосхем, при которых на панели воспроизводится, в зависимости от задачи, та или иная нужная оператору схема или же, наряду с общей интегральной мнемосхемой, отображается детализированная схема ее отдельного участка. Иногда такая детализированная информация выводится на периферию мнемосхемы.

Существуют и такие сменные мнемосхемы, на которых при

[21] Зинченко В. П. Восприятие и действие. — «Вопросы психологии», 1967, № 1, с. 17—24.

нормальном режиме работы системы представляется лишь общая схема соединения объектов и лаконичные прямоугольные обозначения самих объектов. В случае же возникновения нарушений в режиме работы системы на этих прямоугольниках автоматически «разворачиваются» и отображаются детализированные мнемосхемы нужного участка соответственно характеру нарушения. Здесь также предусмотрено, чтобы оператор мог и сам в нужный момент вызвать на мнемосхеме интересующий его участок.

Латинскую поговорку guvernari est praevidere (управлять — значит предвидеть) следует в прямом смысле учитывать при разработке мнемосхем. Подобные схемы должны создавать оператору прежде всего хорошие условия для *предвидения* (антиципации) развития управляемого процесса, поскольку именно на основе оценки его динамики выбирается способ управляющего действия. При этом из мнемосхемы должны наглядно обнаруживаться не только различные варианты решения возникшей задачи, но и прогнозы поведения сисгемы в каждом из этих вариантов.

Отсюда вытекает идея создания сменных мнемосхем с развивающимися структурами на экранах электронно-лучевых трубок [22], — мнемосхем, отображающих в динамике трансформации, происходящие в системе при развитии процессов (с показом значений параметров и их допустимых пределов).

Кроме названных выше общих принципов построения мнемосхем, можно указать и ряд дополнительных требований, которые к ним предъявляются.

1. Мнемосхема должна быть максимально лаконичной — содержать только необходимый минимум элементов и связей; зрительный акцент здесь создается не за счет увеличения насыщения схем деталями, цветом, подсветкой и т. п., а за счет композиционных приемов и изъятия излишних элементов.

2. На мнемосхеме должны быть четко выделены элементы контроля, управления, а также наиболее ответственные участки и узлы, которые важно учитывать при решении задач.

3. Отдельные участки схемы, соответствующие автономно действующим и контролируемым объектам или агрегатам, должны быть обособлены и располагаться согласно их пространственному размещению.

4. Все символы, используемые в мнемосхеме, должны относиться к единому алфавиту; их форма должна соответствовать содержанию передаваемого сигнала и хорошо распознаваться среди других символов схемы; соединяющие их линии должны быть прямыми и также четко различаться одна от другой.

---

[22] Чачко А. Р., Шерстюк И. Н. Психологические исследования развивающихся мнемосхем. — В кн.: Проблемы инженерной психологии и эргономики. Материалы IV Всесоюзной конференции по инженерной психологии, вып. 2. М., 1974, с. 122—125.

## VII.6. ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ ПО СЛУХОВОМУ И ТАКТИЛЬНОМУ КАНАЛАМ

Передача сообщений оператору по звуковому каналу осуществляется либо в виде звуковых сигналов, либо в виде речевых сообщений или команд. Звуковые сигналы чаще всего передаются в форме непрерывных или прерывистых тонов в диапазоне от 1000 до 4000 Гц (в котором человеческий слух наиболее чувствителен) и в форме звонков. Выбор интенсивности звукового сигнала производится исходя из уровня шумов, на фоне которых передается этот сигнал, а также с учетом высоты тона сигнала и продолжительности его воздействия. Для указанного диапазона частот звуковой сигнал обычно избирается с превышением фона маскирующих шумов примерно на 20 дБ, с таким расчетом, чтобы его интенсивность при кратковременном воздействии была не более 110 дБ, а при длительном — не более 90 дБ. Приближенно интенсивность звукового сигнала должна быть средней между уровнем маскирующих шумов и предельно допустимым уровнем сигнала.

В системе «человек—машина» звуковые сигналы в настоящее время чаще всего используются для передачи простых, однозначно трактуемых сообщений:

— аварийных, указывающих на опасное нарушение режима работы системы или появление опасности извне;

— предостерегающих от использования системы из-за ее неподготовленности или вследствие ошибки оператора, допущенной при управлении ею, и т. п.;

— информирующих о завершении определенного этапа работы системы или истечении интервала времени;

— напоминающих о необходимости выполнить соответствующее действие.

После краткого обзора вопроса применения звуковых сигналов остановимся несколько подробнее на использовании звуковой речи в управляющей деятельности оператора. Хотя речь и является одним из основных и наиболее эффективных способов передачи информации человеку, в системе управления она используется еще сравнительно редко. Подобная форма применяется для передачи как простых, так и более сложных сообщений, предназначенных для придания определенной направленности деятельности оператора на данном этапе.

Такой способ передачи сообщений является весьма перспективным, поэтому в последнее время в инженерной психологии уделяется большое внимание его изучению. Характеристики речевых сообщений здесь изучаются с двух точек зрения:

— разработки аппаратуры, предназначенной для передачи речевых сообщений;

— разработки устройств, воспринимающих речевые сигналы в качестве управляющих команд.

Если первый круг задач достаточно хорошо изучен и довольно широко используется, то во втором сделано еще сравнительно немного (о нем будет идти речь в гл. VIII). В настоящее время звуковая (в том числе и речевая) индикация о состоянии технической части системы используется в следующих случаях:

— для срочной передачи кратких сообщений,

— для получения немедленной реакции оператора,

— для передачи предостерегающих и оповещающих сигналов,

— для дублирования наиболее важных зрительных сигналов.

Сигналы предостережения могут передаваться двумя этапами: предупреждающим (продолжительностью до 0,5 с) и подтверждающим сигналами или же сигналом к действию (где наиболее важная информация выдается за первые 2 с). Сигналы оповещения обычно используются для направления внимания оператора на определенную ситуацию и передаются в форме, отличной от предостерегающих сигналов.

Основными акустическими параметрами речевого сигнала является интенсивность, частота составляющих гармоник и длительность. Субъективно они воспринимаются как громкость, высота и качество звука, а также продолжительность звукового сигнала. Кратко остановимся на этих характеристиках речи.

Оптимальный динамический диапазон интенсивности речевых сигналов составляет 60—90 дБ (пиковые уровни могут достигать предельной величины 134 дБ). Их звуковой спектр находится в пределах примерно от 100 до 7000 Гц. Средняя частота, характерная для мужского голоса, — 1660 Гц, для женского — 1900 Гц. Срезание частот ниже или выше этих средних значений вдвое снижает разборчивость речи. Достаточно хорошая разборчивость речи обеспечивается при передаче ее в диапазоне 250—25 000 Гц.

Разборчивость речи зависит от длительности произношения звуков (для гласных она составляет в среднем 0,36 с, для согласных — от 0,02 до 0,3 с), от темпа произношения слов (оптимальный темп — 120 слов в минуту).

Восприятие речевых сигналов может существенно изменяться в условиях помех, причем чем ближе частота помех к частоте речевого сигнала, тем сильнее эффект помех. Чтобы звуки речи были поняты, они должны передаваться на частотах, отличных от типичных шумов, и их интенсивность должна превышать интенсивность этих шумов примерно на 6 дБ (аварийные звуковые сигналы — не менее чем на 20 дБ). Помехи приему речи могут создаваться за счет реверберации — отражения звуков от окружающих предметов — и за счет наложения одних речевых сообщений на другие.

На точности восприятия речевых сигналов отражается организация речевого сообщения. Так, более длинное слово, имею-

щее большее число опознавательных признаков, воспринимается точнее, чем короткое. Установлено, что точнее воспринимаются слова, начинающиеся с гласных букв, и слова, в которых ударным является последний слог. Точность восприятия возрастает при передаче групп связных слов, поскольку их синтаксические связи повышают избыточность кодирования и делают сообщение более определенным. Важно, чтобы в тексте использовались хорошо знакомые слова, имеющие однозначную трактовку, вызывающие вполне определенные ассоциации и чтобы число слов во фразе не превышало 11. При передаче нескольких фраз помехоустойчивость восприятия возрастает, если между фразами имеется логическая связь. Речевое сообщение должно быть кратким, четким, передаваться официальным спокойным тоном.

Широкому практическому использованию звукового канала для передачи оператору сообщения о состоянии параметров системы, как уже отмечалось, часто препятствуют высокий уровень внешних шумов и загруженность этого канала внешними командами. Так, например, у летчика звуковой сигнал в основном используется для ведения радиообмена и приема редких или аварийных сигналов.

•

Значительная перегрузка зрительного и ограничения по применению слухового канала восприятия выдвигают необходимость использования для передачи информации оператору и других сенсорных каналов, в частности тактильного. Экспериментально доказано, что осязательные образы формируются на основе синтеза массы тактильных и кинестетических сигналов. Поскольку осязательное восприятие есть развернутый процесс, скорость приема по этому каналу оказывается сравнительно небольшой. Однако в результате тренировки роль тактильного анализатора может быть повышена. А. В. Филиппов [23], изучавший возможности использования тактильного канала для передачи дополнительной информации оператору, экспериментально показал, что подобным путем возможно повысить точность и скорость действия линотипистов.

Возможности использования тактильного канала для передачи информации посредством электрических сигналов исследовались группой ученых под руководством Д. И. Агейкина [24]. Было установлено, что абсолютный порог чувствительности кожи определяется в среднем напряжением 6,6 вольт. Порог чувстви-

---

[23] Филиппов А. В. Сенсорная основа трудовой деятельности человека и изменения ее структуры под влиянием развивающейся техники. Автореф. дис. на соискание ученой степени доктора психологических наук. Л., 1973. 61 с.

[24] Волошинова Е. В., Жигалев Л. Ф. Попытки использования электрического раздражения кожного анализатора для передачи информации человеку-оператору. — В кн.: Проблемы инженерной психологии. Материалы II Всесоюзной конференции по инженерной психологии, вып. 2. М., 1968, с. 360—364.

тельности к длительности одиночного импульса (при удвоении порогового напряжения) оказался равным 42 мс. Оба этих порога с увеличением частоты импульсов незначительно снижались. Авторы пришли к заключению, что передача информации по кожному каналу должна осуществляться путем изменения частоты воздействующих импульсов. Было определено, что в диапазоне 1—15 Гц испытуемые достаточно хорошо идентифицируют сигналы по частоте. С увеличением частоты до 30 Гц распознавание сигналов значительно ухудшается. Информационная емкость кожного канала оказалась, по расчетам авторов, равной 2,84 бита, т. е. по этому каналу возможно было передавать до 7—8 равновероятных сигналов. Однако, несмотря на хорошие данные тактильных анализаторов, использование этого канала для передачи информации оператору оказывается ограниченным из-за сравнительно низких возможностей организма по центральной переработке такой информации. Теми же авторами был проведен эксперимент по управлению системой на основе сигналов, поступающих по кожному каналу. Он показал, что оператор способен управлять системой подобным образом, если закон изменения ее параметров описывается дифференциальным уравнением первого порядка.

В другом эксперименте [25] было установлено, что в диапазоне от 1 до 50 Гц человек может идентифицировать 30 ступеней сигналов, причем лучше распознаются сигналы частотой от 1 до 10 Гц. Имеются данные, показывающие, что в случае удачного выбора системы кодирования человек может при определенных условиях идентифицировать 67 пятибуквенных слов в минуту, что соответствует пропускной способности кожного канала 3 бит/с.

Исследования показали, что вибрации с небольшой амплитудой не вызывают неприятных ощущений и не утомляют оператора. Замечено, что пороги чувствительности кожного анализатора существенно повышаются, если внимание испытуемого специально не концентрируется на восприятии тактильного сигнала.

* * *

В настоящей главе была рассмотрена лишь одна часть технических средств оператора — средств, действующих на входе звена «оператор». Теперь перейдем к рассмотрению второй группы технических средств деятельности оператора — его органов управления, действующих уже на выходе этого звена.

---

[25] Ширкова Е. А., Шнейдер Ю. А., Соловьев Л. С. Использование вибрационных сигналов в качестве источника информации. — В кн.: Проблемы инженерной психологии. Материалы II Всесоюзной конференции по инженерной психологии, вып. 2, М., 1968, с. 365—368.

# Глава VIII. Технические средства ввода информации и их психологические оценки

## VIII.1. ДВИГАТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ И ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРАТОРА

### VIII.1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ

«Не существует «хороших» или «плохих» органов управления, — указывается в рекомендациях по инженерно-психологическому проектированию, — пригодность любого органа управления зависит от соответствия его выполняемой задаче управления»[1].

В деятельности оператора возникают весьма разнообразные двигательные задачи, которые разрешаются с помощью различных устройств и различных способов их использования. Одна и та же задача может решаться посредством разных органов управления, и, наоборот, один и тот же орган управления оказывается пригодным для разрешения многих двигательных задач. Так, например, летчик может корректировать направление полета и с помощью штурвала, и с помощью педалей, и путем их совместного применения. В то же время штурвал он использует не только для изменения направления полета, но и для изменения угла крена самолета. Подобное разнообразие возможностей применения органов управления, с одной стороны, открывает перед оператором широкие возможности выбора наиболее целесообразного способа действия, но с другой — усложняет задачу такого выбора.

В существующих системах «человек—машина» оператор использует главным образом ручное и ножное управление. Современное развитие техники позволяет говорить и об управлении машиной посредством речевых команд. Для создания подобных систем уже имеются вполне реальные возможности, однако их реализации пока препятствуют некоторые неразрешенные трудности технического и организационного порядка. В настоящей главе будут рассматриваться в основном ручные моторные действия оператора и используемые при этом органы управления; лишь в конце главы будет дан краткий обзор вопроса управления машинами посредством речевых команд.

Тенденция передачи машине силовых и нетворческих функций человека способствует упрощению содержания двигательных задач оператора. Благодаря такой тенденции многие его управляющие акты сводятся к простому нажатию кнопок, вклю-

[1] Инженерная психология в применении к проектированию оборудования. М., 1971, с. 208.

чению тумблеров, повороту рукояток и т. п. В основном усилия оператора при решении подобных моторных задач сосредоточиваются на выборе нужного способа управляющего действия. Трудности в реализации такого управляющего движения могут возникнуть лишь в аварийных ситуациях при жестких ограничениях по времени и точности.

Однако, несмотря на указанную тенденцию, у отдельных операторов остается часто немало моторных задач, требующих сложной двигательной координации и осуществления их с учетом многих меняющихся факторов. Подобные задачи остаются у оператора или потому, что эти действия пока не удалось автоматизировать, или потому, что автомат не может выполнить их столь качественно, или из-за их высокой ответственности, не позволяющей поручать эти действия машине.

Таким образом, в операторской деятельности нередко сочетаются весьма простые в реализации двигательные задачи с задачами, выполнение которых может представлять для оператора определенные трудности. Очевидно, указанное различие моторных задач должно приниматься во внимание при конструировании и компоновке органов управления для той и другой категории задач.

При рассмотрении вопроса надежности работы оператора в гл. VI было показано, что простота задачи еще не гарантирует ее точное и надежное разрешение. Если в сложных двигательных задачах оператор обычно ошибается потому, что по той или иной причине не может их разрешить так, как требуется, то при решении простых задач ошибки возникают потому, что оператор почему-то не делает того, что может. В сложных задачах *фактор «сложности»*, как было показано, *выступает в роли побудителя к активации, к мобилизации ресурсов организма* на разрешение подобных значимых задач. В то же время *«простота» задачи* может оказаться *демобилизующим фактором, вызывающим понижение качества и надежности работы оператора.* Поэтому в том и другом случае возникает необходимость посредством выбора конструкции органа управления и его места на пульте изыскивать пути для успешного решения той и другой категории моторных задач. Однако путь достижений требуемого эффекта в каждом случае, очевидно, должен быть свой.

Так, орган управления, предназначенный для выполнения сложных двигательных задач, должен прежде всего *облегчать оператору выполнение моторного действия.* При выборе органа управления для решения простых двигательных задач следует исходить не столько из целей упрощения и без того простого действия, сколько из соображений *исключения ошибок при* его *выборе.* В последнем случае возникает проблема обеспечения правильной идентификации органа управления, проблема привлечения в нужный момент внимания оператора к этому устройству, с учетом структуры выполняемой им деятельности. Для

органа же управления, служащего для решения сложных двигательных задач, приходится обеспечивать прежде всего его согласование со структурой выполняемого действия, с содержанием решаемой в нем задачи.

Таким образом, исходя из сказанного, органы управления можно разделить по сложности манипулирования с ними на две группы: на органы, предназначенные для выполнения простых и сложных двигательных действий.

Другим критерием подразделения органов управления может служить *характер* их *воздействия на систему.* С этой точки зрения можно выделить три следующие группы:

— органы управления, служащие для *постоянного* непрерывного управления (руль шофера, рукоятка или штурвал летчика и т. п.);

— устройства, предназначенные для *периодической* коррекции, подстройки системы управления, ее регулирования (подобная подстройка может быть тонкая или грубая, плавная или ступенчатая);

— устройства *включения—выключения* или переключения.

Органы управления можно различать также по *способу их использования.* Имеются управляющие устройства, предназначенные для ручного и ножного управления. *Ручное* управление может быть рассчитано на определенную руку оператора или же на управление двумя руками (например, руль автомобиля). *Ножное* управление также предназначается либо для определенной ноги (тормоз автомобиля), либо для одновременного движения обеих ног (педали руля направления на самолете).

Возможно разделить органы управления и *по режиму* их *использования* на органы, предназначенные для *нормальных* и для *аварийных* режимов работы. Аварийные органы управления специально выделяются среди остальных расположением, цветом, формой. Это способствует, с одной стороны, их быстрому обнаружению, с другой — препятствует перепутыванию их с устройствами, используемыми при нормальном управлении. Для предотвращения случайных включений аварийных органов управления их часто устанавливают под защитные колпачки, используют различные фиксаторы или блокировки, без специального отключения которых эти органы управления не действуют. При этом мера необходимой защиты аварийных органов управления от их случайного включения будет определяться степенью тяжести последствий подобных включений. Следует отметить, что предохраняющие устройства часто предусматриваются и для обычных органов управления, особенно там, где возможны их случайные перемещения и это связано с опасными последствиями.

Органы управления можно расценивать и по той роли, которую они играют в управляющей деятельности оператора. Эта роль определяется хотя бы по тому, в какой мере оператор спо-

собен достигать цели, а система — выполнять возложенные на нее функции в случае выхода из строя данного органа управления или отказа оператора при его использовании. Она может определяться исходя из *значимости* тех задач, которые разрешаются посредством этого органа управления, поскольку, как уже отмечалось, оператору свойственно свое отношение к задаче переносить на орудия, с помощью которых она решается.

## VIII.1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ

В главе II было показано, что основная трудность организации двигательного акта и его осуществления заключается в том, что организм не располагает механизмами, позволяющими ему заранее вырабатывать такие эффекторные сигналы, которые сразу обеспечили бы необходимую точность реагирования на возникшую двигательную задачу. Поэтому организм нуждается в том, чтобы по ходу выполнения движения к нему по цепи обратной связи непрерывно поступала информация как о состоянии двигательного аппарата (кинематических цепей, мышц) на различных его этапах, так и о том, как складывается это движение (направление, скорость, ускорение). На основе синтеза всех этих афферентных данных в центральной нервной системе формируются такие эффекторные сигналы, которые позволяют, по ходу выполнения движения, непрерывно корректировать этот процесс, устранять рассогласование между фактическим его течением и желаемым и таким образом получать необходимые результаты.

Все это свидетельствует о том, что управление движением представляет собой многоканальную систему с большим числом обратных связей, замыкающихся по путям как экстеро-, так и проприорецептивной чувствительности. Ведущую роль здесь, как показывают исследования, играют сигналы зрительной, а также тактильной и кинестетической модальностей. При этом, *по мере освоения движения и выработки навыков его осуществления, все большее значение в его организации приобретают кинестетические и тактильные сигналы,* которые постепенно становятся способными замещать сигналы зрительной модальности. Поэтому с выработкой двигательных навыков роль зрительного контроля в организации движения становится уже не столь существенной, а информация, воспринимаемая непосредственно за счет соприкосновения с органом управления и преодоления нагрузок при его перемещениях, приобретает особо важное значение.

Следует отметить, что информация о ходе двигательного акта, поступающая по кинестетическому каналу, имеет и прямые преимущества перед зрительной. Максимальная скорость передачи информации по внешнему контуру обратной связи, когда результаты двигательного акта оцениваются зрительно,

составляет примерно 0,1—0,2 с. По внутреннему же контуру регулирования (через мышцу и проприорецептор) информация обратной связи о ходе движения поступает в центральную нервную систему уже через 0,04 с, т. е. значительно быстрее.

В операторской деятельности двигательные акты выступают как средство воздействия оператора на управляемый объект, поэтому здесь человека интересуют не столько данные о движении руки или ноги, сколько результаты воздействия этого движения на управляемый объект. Поэтому на получение именно этих результатов ориентируется организация двигательного акта и в этом направлении идет сбор и синтез афферентной информации. Следовательно, при использовании органов управления чувствительность оператора концентрируется не на данных о движении руки, а на ощущениях сигналов, которые отражают воздействие этих органов на управляемый объект, на его состояние. При этом происходит как бы *«смещение» чувствительности руки на орудие труда* — на органы управления, которые становятся уже дополнительными *средствами познания* управляемого объекта, перцептивного пространства, в котором он действует, и *формирования более полного образа орудийной сферы.*

Есть основания предполагать, что оператор испытывает нужду в подобной информации, поступающей по каналу кинестетической чувствительности, преднамеренно стремится к ее получению. Это предположение вытекает из результатов нашего эксперимента, в котором изучалась управляющая деятельность летчиков при полете по приборам в реальных условиях, где синхронно фиксировались изменения показаний приборов и перемещения органов управления самолетом. В этих опытах было замечено, что в условиях, когда точно выдерживался заданный режим полета, некоторые летчики осуществляли небольшие периодические повороты штурвала вправо-влево. Это позволяло им, как они выражались, «лучше чувствовать машину». Когда самолет летит горизонтально и прямолинейно, а рули находятся в нейтральных положениях, нагрузка на органах управления отсутствует, — отсутствует и информация кинестетического канала, отражающая действие систем управления. Преднамеренно вводя в подобных условиях небольшие нарушения в режим полета, летчики таким образом, вероятно, повышали информативность кинестетического канала и получали дополнительную возможность убедиться, что система управления исправна и послушна им.

Возможность использования органов управления в качестве источников информации о состоянии управляемого объекта будет зависеть, очевидно, от их технических характеристик — формы, размеров, нагрузок на органах управления, связи последних с состоянием объекта и пр. Форма органа управления, как и его размеры, может служить эффективным дифференци-

рующим средством, способствующим быстрому и легкому распознаванию нужного органа управления. Подтверждением этого может служить следующий пример. На четырехтурбинном самолете перед самой посадкой предусмотрено уменьшение мощности внутренних турбин. Управление каждой турбиной осуществляется рычагом, и четыре таких рычага расположены рядом на пульте, слева от сиденья летчика. Для снижения мощности внутренних турбин летчик должен переместить в заднее положение два внутренних рычага. Это действие он выполняет не отрываясь от пилотирования самолетом и наблюдения за его положением, относительно земли, выполняет левой рукой, на ощупь находя нужную пару рычагов. На первых модификациях самолетов, где все четыре рычага были одинаковой формы и высоты, летчики иногда по ошибке убирали рычаги управления турбинами, расположенными на одной стороне крыла, что вызывало резкий разворот самолета и выкатывание его с посадочной полосы. Полностью исключить подобные чрезвычайно опасные ошибки удалось несколько изменив высоту и форму рычагов управления внутренними турбинами, после чего перепутать их стало практически невозможным. Таким образом, несколько сантиметров в высоте рычагов управления оказались тем фактором, который явился определяющим в надежности работы летчиков и безопасности полетов.

Любое, даже самое простое управляющее действие складывается, как показывают эксперименты, из многих элементарных движений, объединенных механизмом регуляции в единую структуру. Эти элементарные движения, согласно исследованиям А. В. Запорожца и его сотрудников[2], можно разделить, *исходя из выполняемых* ими *функций,* на три группы:

— р а б о ч и е (или исполнительские) движения, посредством которых осуществляется требуемое воздействие;

— г н о с т и ч е с к и е (ориентировочно-исследовательские) движения, направленные на познание объекта и условий действия, к которым относятся осязательные (ощупывающие), измерительные, пробующие, контролирующие движения;

— п р и с п о с о б и т е л ь н ы е движения, обеспечивающие установку рабочей позы, руки, способствующие точности и устойчивости движения, позволяющие осуществлять его с меньшими энергетическими затратами и более целесообразно включать в общую систему деятельности.

В процессе формирования навыков удельный вес движений различных групп в общем двигательном акте изменяется. В самом начале выработки двигательных навыков обычно преобладают гностические и приспособительные движения. Затем они все более органично связываются с рабочим движением, и их уже становится трудно выделить. При этом движение делается

² Запорожец А. В. Развитие произвольных движений. М., 1960. 430 с.

более плавным и стабильным. Однако все три группы движений, независимо от уровня навыка, в той или иной мере всегда присутствуют в двигательном акте. Поэтому *при разработке формы органа управления необходимо обеспечивать его соответствие не только исполнительным, но и двум другим вспомогательным группам движений.* Исследования показывают, что стремление как можно полнее учесть в форме органа управления антропометрические особенности руки иногда приводит к ограничению возможностей выполнения гностических и приспособительных движений, что может не только не содействовать, но и препятствовать успешности выполнения двигательного акта.

Теперь перейдем к рассмотрению конкретных двигательных задач, возникающих в управляющей деятельности оператора. Двигательные задачи оператора можно подразделить на две большие группы — задачи, выполняемые эпизодически, и задачи, требующие длительного непрерывного действия.

К *первой группе* относятся задачи:

— *включения, выключения* и *переключения,*
— *установки* и *настройки* режимов работы системы, установки соответствующих значений параметров.

Во *вторую группу* входят задачи *слежения,* заключающиеся в непрерывной корректировке состояния системы соответственно известной или задаваемой по ходу действия программе.

В деятельности оператора задачи первой группы возникают обычно двумя путями: по внешним сигналам, в том числе по сигналам информационной модели, и выдвигаются самим оператором, в соответствии с его планом действий. В первом случае сигналом к моторному действию является обнаружение нарушения в работе системы, которое требуется устранить этим действием, во втором — завершение определенного этапа программы, после которого, согласно плану, оператор должен произвести перестройку режима работы системы. В обоих случаях достигается одна и та же цель — приведение состояния системы в соответствие с программой путем корректировки ее режима, однако различные условия выполнения действий делают эти задачи оператора различными по их психологической структуре.

При действиях *по внешнему сигналу* оператору заранее не известно, когда появится необходимость выполнения двигательной задачи, — командой явится именно этот сигнал. В таком случае у оператора создается готовность только к своевременному обнаружению и восприятию такого сигнала и лишь после этого определяется и уточняется сама двигательная задача. Множество возможных вариантов нарушений и условий их возникновения определяют большую многозначность двигательных задач оператора. Поэтому обычно до обнаружения нарушения и его осознания оператор, естественно, не может точно знать,

какая у него возникнет двигательная задача, и готовиться к ее разрешению.

Совершенно иные условия имеют место при действиях оператора *по плану*. Здесь ему уже заранее известно, какую двигательную задачу придется решать и когда, за каким действием она последует. В подобных случаях оператор обычно заранее готовится к разрешению этой задачи, располагая достаточным для этого временем: готовится сам, готовит техническую часть системы к вводу соответствующих изменений и корректив. При действиях же по внешней команде оператор должен, как правило, за короткое время выбрать необходимый ответ и реализовать его.

Таким образом, можно заключить, что условия разрешения двигательных задач по плану оказываются более благоприятными, чем условия решения таких задач по внешней команде. Однако, как показали исследования, описанные в гл. IV, при действии по внешней команде операторы реагируют быстрее, чем при решении подобных двигательных задач по плану. Все эти факторы свидетельствуют о необходимости анализа с данной точки зрения задач оператора и специального их дифференцирования. Справедливость этого заключения подтверждается и обнаруженным в том же исследовании различии в результатах решения того и другого вида двигательных задач операторами с разными особенностями высшей нервной деятельности.

Итак, на основе сказанного можно заключить, что для тех органов управления, с которыми оператору приходится в основном действовать по внешнему сигналу, следует прежде всего обеспечивать их быстрое обнаружение и точное манипулирование ими в условиях жестких временных ограничений. Для органов управления, используемых в основном по плану, следует обеспечивать требуемую точность, учитывая возможность оператора заранее готовиться к разрешению двигательных задач. Однако чаще всего приходится предусматривать возможность использования одного и того же органа управления для решения обоих видов задач, снабжая его качествами, необходимыми для тех и других условий работы.

## VIII.2. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ ОПЕРАТОРА

**Задачи включения, выключения и переключения** выполняются с помощью кнопок, тумблеров, поворотных рукояток, галетных переключателей, педалей и других подобных органов управления и заключаются в простой их перестановке в новое положение. Среди таких органов управления имеются устройства, манипулирование которыми завершается их перестановкой в другое положение, и есть устройства, которые требуется

удерживать в новом положении (их отпускание означает возвращение органа управления в исходное состояние). Н. А. Розе[3] было показано, что моторные действия, осуществляемые при подобных переключениях, состоят из большого числа *микродвижений,* совершаемых как в контакте с органами управления, так и вне контакта с ними. Значительная доля в этих действиях принадлежит гностическим движениям, с помощью которых воспринимаются форма и сопротивление органа управления (что важно при организации хватки и регулировании усилия), а также приспособительным движениям. Было установлено, что большой, средний и безымянный пальцы часто выполняют гностические движения, а безымянный и мизинец — приспособительные. Однако однозначной связи вида движения с определенным пальцем руки не существует. Можно предположить, что каждое микродвижение порождает элементарный кинестетический сигнал, необходимый для регуляции всего двигательного акта. Было подсчитано, что при нажатии на кнопку за 0,75 с пальцы правой руки совершают более 60 микродвижений, при переключении тумблера за то же время — около 80.

Характерно, что в простых движениях с органами управления все пальцы совершают примерно равное число микродвижений. С усложнением же двигательной задачи особенно возрастает дробность движений нерабочих пальцев (безымянного, мизинца). Это свидетельствует о важной роли таких пальцев при решении сложных двигательных задач; можно предположить, что их кинестетические сигналы играют существенную роль в афферентном синтезе и в организации целостной структуры всего двигательного акта.

**Задачи установки и настройки** требуют от оператора дозированных по силе, по времени и в пространстве перемещений органов управления. Существенными переменными таких задач обычно являются ограничения по точности, а иногда и по скорости действия.

В тех случаях, когда для установки заданных значений параметров режима работы системы требуется приложение умеренных и больших усилий, могут применяться рукоятки рычажного типа, рассчитанные на перемещение их всей рукой. Пример таких рукояток и рычагов приведен на рис. 8.1[4]. Для тонкого же регулирования, при котором не нужны большие усилия, лучше использовать поворотные ручки, приводимые в движение пальцами. Такой орган управления должен иметь определенное сопротивление как для исключения его случайного смещения от вибраций или задевания рукой, так и для создания

[3] Розе Н. А. Психомоторика взрослого человека. Л., 1970. 127 с.

[4] Зинченко В. П., Мунипов В. М., Смолян Г. Л. Эргономические основы организации труда. М., 1974, с. 143.

таких кинестетических ощущений, которые способствуют его точной установке в заданное положение.

При разработке органов управления рассматриваемого назначения весьма существен выбор *передаточного числа* между перемещением органа управления и указателя на индикаторе, контролирующем данный параметр. При установке заданного значения параметра оператор обычно вначале производит быстрое грубое перемещение органа управления в зону этого значения, а затем уже более медленными движениями осуществляет тонкое регулирование. При выборе большого передаточного числа органа управления будет возрастать время грубой установки, при малом же передаточном числе труднее будет осуществлять точную настройку и большего времени потребует уже второй этап двигательной задачи. Принято считать оптимальным такое передаточное число между движением органа и указателя, при котором требуется минимальное время для разрешения общей задачи настройки.

Существует мнение, что при использовании для установки заданного значения параметра поворотной рукоятки оптимальным оказывается такое передаточное число, при котором полный оборот рукоятки соответствует перемещению индекса на шкале указателя на 25—50 мм. Следует отметить, что с приобретением навыков оператор постепенно научается «подстраивать» скорость движения рукоятки к удобной для него скорости движения индекса на указателе. Благодаря этому он становится способным достаточно быстро и точно устанавливать требуемые значения параметров и при передаточных числах, несколько отличных от оптимальных.

Рис. 8.1. Формы рукояток управления: 1 — различные формы рукояток и рычагов (длина рычага L=15—350 мм, в зависимости от прилагаемого усилия); 2 — различие рукояток по форме.

Не менее важной, чем передаточное число, является характеристика *направления движения* органа управления. Выбор этого направления приходится производить с учетом ряда существенных факторов:

— принятых в данной системе перемещений остальных органов управления и сложившихся у оператора навыков;

— особенностей динамической антропометрии человека;

— характера изменения самого управляемого параметра и направления движения индекса на индикаторе.

Выбор направления перемещения органа управления должен прежде всего осуществляться с позиции конечной цели, которую преследует данное управляющее действие, а не промежуточных эффектов управляющего воздействия. Это положение можно проиллюстрировать конкретным практическим примером — выбором направления перемещения рукоятки управления стреловидностью крыла. Как известно, на сверхзвуковых самолетах возникает необходимость изменять стреловидность крыла в соответствии со скоростью полета. Для полета на больших скоростях крыло смещается назад и ему придается бо́льшая стреловидность, и, наоборот, для полета на малых скоростях стреловидность крыла уменьшается. Управление стреловидностью крыла осуществляется посредством специальной рукоятки. Казалось бы, направление движения рукоятки должно совпадать с направлением движения крыла. Однако такая связь оказалась совершенно неприемлемой для летчиков. При такой схеме для увеличения скорости полета (а следовательно, и стреловидности крыла) летчик должен был рукоятку управления перемещать на себя. А это противоречило сложившимся у него навыкам — для увеличения скорости все рукоятки управления перемещать только вперед. Поэтому основным принципом выбора направления движения органов управления оказывается обеспечение *соответствия* этого *направления конечному эффекту* действия, соответствия *направлению движения других органов* управления и сложившимся у оператора *навыкам*.

Другим важным критерием выбора направления движения органа управления является учет антропометрических особенностей двигательного аппарата человека. Так, установлено, что для органов управления предпочтительнее выбирать горизонтальное направление движения, чем вертикальное, а движение вперед-назад удобнее, чем вбок; что движение правой рукой совершается быстрее слева-направо, чем наоборот, а еще быстрее сверху-вниз; что движение рук в направлении к себе быстрее, чем от себя, однако последнее более точное и т. п.

Установлено также, что при использовании рукояток поворотного типа наиболее высокая точность их установки без визуального контроля достигается на точках шкалы, соответствующих 9, 12 и 3 часам. Причем замечено, что установка стрелки в верхнем левом секторе связана с постоянной поло-

жительной погрешностью, а в верхнем правом — с отрицательной, иначе говоря, человеку свойственно устанавливать рукоятки в более вертикальное положение, чем этого требует задача. Опыты показывают, что в пределах верхнего левого сектора шкалы данные устанавливаются точнее при использовании правой руки, а в пределах правого верхнего сектора — левой; ведущая роль при повороте рукояток принадлежит большому и среднему пальцам. Все названные и многие другие *антропометрические особенности двигательного аппарата* человека (они систематизированы в специальных справочниках[5]) *принимаются во внимание при конструировании органов управления и выборе направления их движения.*

Третьим фактором, обусловливающим выбор направления движения органа управления, является характер его воздействия на управляемый объект и отображения этого воздействия на шкале индикатора. Так, например, для отклонения управляемого объекта вправо в том же направлении должна перемещаться и управляющая рукоятка. При этом очень важно учитывать, в какой форме представлено отклонение на индикаторе, и *в соответствии с формой индикации выбирать* не только *направление движения органа управления,* но и *его конструкцию.* Пример рационального выбора управляющих устройств и направления их движения в соответствии с видом и формой индикации представлен на рис. 8.4[6].

Для успешного решения двигательных задач по установке и настройке, кроме перечисленных выше требований, следует обеспечивать также хороший доступ к органам управления и необходимое рабочее пространство для манипулирования ими.

**Задачи слежения** за изменяющимися объектами или их параметрами особенно характерны для многих видов операторской деятельности. Такие перцептивно-моторные задачи решает аппаратчик, который приводит в соответствие с программой параметры рабочего процесса, летчик, выдерживающий по приборам заданный режим полета, стрелок, совмещающий визир на прицельной станции с движущейся целью, и многие другие операторы.

Задачи слежения принято подразделять на две группы:

— слежение с преследованием, когда оператор воспринимает весь ход изменения как входного сигнала (например, движущейся цели), так и результат своих действий (движение выходного сигнала, например визира) и устраняет рассогласование между ними;

---

[5] Инженерная психология в применении к проектированию оборудования. Под редакцией К. Моргана, А. Чапаниса и др. М., 1971, с. 208—267; Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов. Под ред. У. Вудсона и Д. Коновера. М., 1968, с. 154—202.

[6] Рисунок заимствован из первого вышеназванного справочника, с. 209.

— компенсирующее слежение, когда при решении той же задачи оператору сообщается только разница между сигналами (величина и знак рассогласования — для рассматриваемого примера между целью и визиром).

В задачах слежения с преследованием оператор располагает более полной ориентировочной основой, чем при компенсирующем слежении: здесь он может одновременно наблюдать изменение как входного, так и выходного сигналов, причем в данном случае оба этих параметра выражены в одном и том же коде (например, в перемещении цели и визира). При компенсирующем же слежении, когда оператору сообщается только о возникшем рассогласовании и эта информация может выдаваться в самом разнообразном коде, порой весьма отличном от регулируемого параметра, оператору значительно сложнее оценивать течение процесса управления и контролировать свои действия.

Отмеченные различия в условиях решения задач двух указанных групп обусловили различие и в их результатах: точность слежения с преследованием оказалась в 1,5—2 раза выше, чем точность компенсирующего слежения.

Точность слежения принято оценивать по отрезку пути, на котором оператор выдерживает заданные условия слежения, либо по соответствующему ему времени. Последняя характеристика применяется чаще. Для оценки слежения во времени иногда используется параметр его *устойчивости* /f(t)/, который выражается относительным временем выдерживания оператором заданной программы (траектории) движения:

$$f(t) = \frac{t_a}{t_o},$$

где $t_a$ — период слежения, в течение которого выдерживалась заданная программа,

$t_o$ — общее время слежения.

Устойчивость слежения, как показывают экспериментальные исследования, зависит от сложности траектории слежения, от требований, предъявляемых к его точности, от условий деятельности, времени слежения или предшествующего наблюдения за сигналом, а также от координационных возможностей оператора. В процессе слежения оператор познает закономерности изменения входного сигнала и у него формируется представление — *динамический образ его движения,* который позволяет ему предвидеть дальнейшее изменение входного сигнала. Как показывают исследования, наличие такого образа дает возможность оператору, даже до выработки необходимых для слежения сенсомоторных навыков, успешно справляться с решением подобных задач.

Эффект *«предвидения»* изучался Л. Д. Чайновой[7]. На основе статистического анализа характеристик биотоков мозга, полученных в опытах по слежению, она обнаружила их закономерное изменение не только в связи с предъявлением стимула, но и за 5—7 секунд до его предъявления. Подобные реакции, предшествующие моменту предъявления стимула, рассматриваются автором как результат возникновения у испытуемых особого состояния психологической активности, направленного на экстренное обнаружение и распознавание сигнала. Поскольку такие реакции возникают не сразу, а после формирования у испытуемых достаточно полного представления о закономерности изменения входного сигнала, их можно расценивать как показатель настройки нервной системы на появление ожидаемого сигнала. Л. Д. Чайнова высказывает предположение об образовании в корковых структурах мозга такого аппарата, который позволяет с определенной вероятностью предвидеть различный ход событий. Эффект подобного «предвидения», по ее мнению, выражается в повышении чувствительности зрительного анализатора. С усложнением условий опыта частота появления реакции «предвидения» возрастает, что является дополнительным свидетельством того, что указанные реакции выполняют функции настройки анализатора на лучшее восприятие сигнальных раздражителей.

Если проследить процесс слежения с момента появления цели, то здесь, как и в задачах установки органа управления, можно выделить две фазы: в первой фазе оператор с большой скоростью плавно перемещает визир на наибольшее сближение с целью, а затем, во второй фазе, значительно замедляя ход, небольшими дискретными движениями постепенно совмещает их. У операторов, которые еще не приобрели навыков слежения, преобладает вторая фаза, у операторов же, у которых такие навыки развиты, вторая фаза оказывается свернутой или даже почти отсутствует.

Опыты показывают, что пока не выработаны необходимые навыки слежения, ведущую роль в двигательной регуляции играет *внешний контур* (глаз—рука). Здесь действия оператора направлены в основном на восприятие положения цели и визира, их рассогласования и на его устранение. Затем, по мере освоения движения, оператор постепенно познает особенности перемещения цели, свою динамику действий, и у него формируется образ скорости движения. Так *от регулирования движений руки по положению цели оператор переходит к их регулированию по ее скорости, с учетом предвидения и экстраполяции движения цели.* Происходит формирование нового зрительного об-

---

[7] Чайнова Л. Д. Об эффекте «предвидения» в условиях непрерывного слежения за стимулом. — В кн.: Проблемы инженерной психологии. Материалы II Всесоюзной конференции по инженерной психологии, вып. 3. М., 1968, с. 54—58.

раза, отражающего динамику процесса слежения, чему содействует активизация *внутреннего контура* регулирования (кинестетический, тактильный анализаторы — рука). Благодаря этому движения оператора становятся более плавными, а функции зрительной системы уже ограничиваются только контролем.

Процесс слежения при дискретном совмещении цели характеризуется некоторым *запаздыванием* с началом движения, которое оказывается тем большим, чем выше скорость цели. Вследствие такого запаздывания в процессе непрерывного слежения могут обнаруживаться некоторые колебания руки (с периодом 1—1,5 гц), частота которых с ростом скорости цели уменьшается, а по мере тренировки возрастает[8].

*Точность слежения,* как и точность установки органа управления, зависит от передаточного отношения управляющего устройства: с ростом передаточного отношения точность возрастает. Однако эта закономерность оказывается справедливой только при малых скоростях цели. При больших скоростях цели существует некоторый оптимум передаточного отношения, сверх которого точность слежения начинает падать.

Поскольку процесс слежения является весьма типичным для деятельности оператора и в значительной мере характеризует успешность его работы, предпринимались различные попытки моделирования и математического описания деятельности оператора в этом процессе.

Создание таких *математических моделей* оказывается полезным не только для изучения процесса слежения и анализа действия в данном режиме замкнутых систем управления, но и для разрешения отдельных вопросов проектирования систем «человек—машина».

Математическое моделирование деятельности оператора в процессе слежения представляет существенные трудности, поскольку этот процесс в значительной мере обусловлен многими факторами, которые трудно выразить количественно. Весьма сложно, например, количественно определить особенности отображаемой информации, внешние условия деятельности, уровень тренированности оператора, его возможности экстраполяции, факторы мотивации, утомления и пр. Учесть все эти переменные в одной модели пока не представляется возможным. И все же, несмотря на указанные трудности, в инженерной психологии широко используются в той или иной степени приближенные модели процесса слежения, построенные на основе данных психологических экспериментов и методов теории автоматического управления.

Примером упрощенного описания передаточной функции оператора в процессе слежения (зависимости, связывающей выход-

[8] Суходольский Г. В. О колебаниях системы «глаз—рука» человека при слежении. — В кн.: Теоретическая и прикладная психология в Ленинградском университете. Л., 1969, с. 199—201.

ные действия оператора с воспринимаемой им входной информацией) могут служить модели Х. Бирмингема (H. Birmingham) и Ф. Тейлора (F. Taylor) [9]. В этих моделях функции оператора в процессе слежения сводятся к временной задержке сигнала и различным видам его преобразований: усилению, дифференцированию, интегрированию и алгебраическому сложению. Эти модели разной степени сложности представлены на рис. 8.2.

Используемое авторами символическое изображение указанных преобразований делает их весьма доходчивыми и доступными для понимания. Так, модель 8.2, *а*, описывающая передаточную функцию оператора только как усилительную, показывает, что здесь между входными и выходными сигналами существует пропорциональное изменение. В других моделях принимается во внимание возможность оператора оценивать скорость

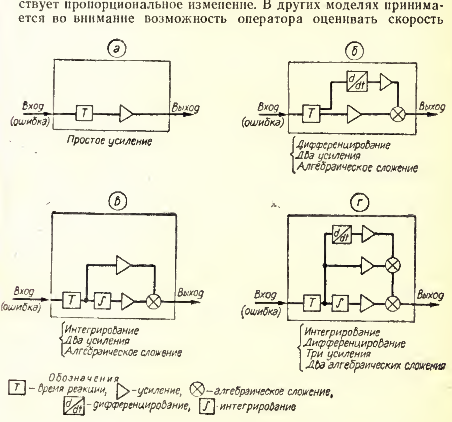



Рис. 8.2. Функции человека-оператора при различных действиях слежения (модели Х. Бирмингема и Ф. Тейлора).

[9] Бирмингем Х., Тейлор Ф. Методология проектирования систем управления «человек—машина». — В кн.: Инженерно-психологическое проектирование, вып. 1. М., 1970, с. 46—78.

изменения сигнала, т. е. выполнять функцию дифференцирования (рис. 8.2, *б*), или экстраполировать положение переменной с учетом скорости движения, т. е. выполнять функцию, аналогичную интегрированию (рис. 8.2, *в*), или одновременно обе эти функции (рис. 8.2, *г*).

Сводка наиболее распространенных математических моделей деятельности оператора в процессе слежения приведена в трудах по инженерной психологии Ленинградского университета[10]. Представленная там общая блок-схема контура слежения позволяет связать ряд основных переменных, которые принимаются во внимание в этих моделях (рис. 8.3).

В данной схеме значение параметра, которое требуется выдерживать, описывается функцией времени $\bar{y}(t)$; фактическое выходное значение — функцией $\bar{z}(t)$, а их рассогласование — функцией $\bar{\varepsilon}(t)$, где $\bar{\varepsilon}(t) = \bar{y}(t) - \bar{z}(t)$. Управляющее воздействие оператора $\bar{u}(t)$, направленное на устранение этого рассогласования, формируется на основе *передаточной функции оператора* $W_{\text{г}}\{\bar{y}, W_o, (p)\}$, учитывающей как особенности возникшего нарушения, так и динамические показатели технической части системы, описываемые *передаточной функцией объекта* $W_o(p)$. В блок-схему, представленную на рис. 8.3, включен также блок оптимальных оценок, учитывающий время предшествующего наблюдения оператора (в период $t \div t+T$) за ходом процесса слежения при выборе управляющих воздействий.

Таким образом, данная блок-схема может использоваться для описания как процессов компенсирующего слежения /осуществляемого только исходя из рассогласования $\bar{\varepsilon}(t)$/, так и слежения с преследованием /которое ведется на основе $\bar{y}(t)$ и $\bar{z}(t)$/. Кроме

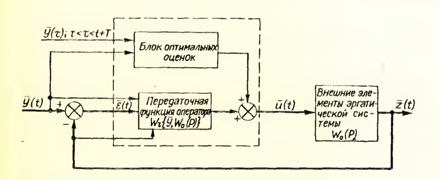



Рис. 8.3. Блок-схема контура слежеиия (по А. И. Нафтульеву).

[10] Нафтульев А. И. Анализ деятельиости оператора в режиме слежеиия с позиции теории автоматического управления. — В кн.: Методологические исследования по иижеиериой психологии и психологии труда. Л., 1974, с. 39—59.

того, в ней может учитываться и предвидение оператора. Уровни временных задержек, возникающих у оператора, а также степень его тренированности, его мотивацию в подобных моделях пытаются учитывать посредством введения соответствующих поправочных коэффициентов к передаточной функции оператора $W_r$.

Наряду с передаточной функцией оператора, в инженерной психологии приходится анализировать и передаточную функцию объекта — машины, которой он управляет, поскольку эта характеристика машины существенно отражается на деятельности оператора и ее результатах. Остановимся на некоторых закономерностях, связывающих входные и выходные сигналы машины.

Наиболее простым видом связи между входным сигналом машины, поступающим от оператора ($x_o$), и ее выходным сигналом ($x_s$) является *линейная зависимость* вида: $x_s = kx_o$, где k — коэффициент усиления. Машины, которым свойственна такая передаточная функция, принято относить к системам *нулевого* порядка. В качестве примера подобной системы можно привести управление автомобилем, где между поворотом руля и изменением направления движения машины существует линейная зависимость.

Более сложная связь между указанными сигналами характерна для систем *первого* порядка, где *с изменением выходного сигнала оператора пропорционально ему изменяется скорость на «выходе» машины.* Для подобных систем характерна зависимость: $x_s = k\int x_o dt$. Примером такой машины может служить автопилот, где с увеличением отклонения рукоятки управления пропорционально растет скорость накренения самолета.

Еще более сложная связь между рассматриваемыми сигналами имеет место в системах *второго* порядка, для которых характерна зависимость: $x_s = k\int\int x_o dtdt$. В подобных системах *с изменением выходного сигнала оператора пропорционально ему изменяется ускорение на выходе машины.* Такая связь существует между перемещением той же рукоятки автопилота и величиной ускорения, воздействующего на летчика.

Поскольку одно и то же движение оператора в системах разного порядка вызывает на выходе машины различные эффекты, то требования к точности работы оператора будут, очевидно, зависеть от порядка управляемой системы. Так, в системе второго порядка оператор должен действовать точнее, чем в системе нулевого или первого порядка, поскольку в системе более высокого порядка его погрешность может так усилиться, что станет уже ошибкой и вызовет отказ системы. Экспериментально установлено, что чем выше порядок системы, тем сложнее работать оператору и тем большее время требуется для его обучения.

## VIII.3. СОГЛАСОВАНИЕ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА

### VIII.3.1. ПРИНЦИПЫ СОГЛАСОВАНИЯ

Одним из наиболее давних критериев оценки согласованности двигательного акта человека с органом управления является принцип экономии рабочих движений. Этот принцип был определен около ста лет назад американским инженером Ф. Тейлором и основывался на двух положениях: отсеивании движений, которые не являются безусловно необходимыми, и выборе из всех возможных движений тех, которые требуют минимальных усилий. Данный принцип, особенно во второй его части, сохраняет свою актуальность и в инженерной психологии. Относительно его первой части следует отметить, что в наше время отнесение движения к категории «лишних» осуществляется не только исходя из внешних антропометрических критериев, но и с точки зрения анализа его места и психофизиологических функций в общей структуре двигательного акта.

Важную роль в организации двигательного акта играет вопрос согласования сенсорных и моторных полей оператора. О согласовании этих полей посредством выбора направления движения органа управления уже говорилось в предшествующем параграфе. Здесь мы продолжим рассмотрение вопроса согласования уже с точки зрения некоторых других пространственных характеристик сигналов на информационной модели и органов управления. Л. М. Веккер и Е. Н. Сурков[11] изучали вопрос согласования сенсорных и моторных полей на пульте железнодорожного диспетчера. Авторы исследовали несколько вариантов пространственной и структурной связи между индикаторами и управляющими тумблерами на этом пульте. В одном варианте тумблеры были отдалены от индикаторов, но их расположение соответствовало расположению индикаторов. Второй вариант отличался от первого тем, что в нем тумблеры были расположены в ряд. В третьем варианте тумблеры располагались непосредственно под соответствующими индикаторами.

Наилучшим по точности и скорости оказался третий вариант связи индикаторов с органами управления, наихудшим — второй, где точность была самой низкой, а время решения задач в 2,5 раза превышало аналогичный показатель в остальных вариантах. Авторы пришли к заключению, что важнейшим средством повышения точности и скорости решения двигательных задач

---

[11] Веккер Л. М., Сурков Е. Н. Исследование сенсомоторных и перцептивно-интеллектуальных компонентов управляющих действий железнодорожного диспетчера. — В кн.: Вопросы инженерной психологии в автоматизированных системах управления. Л., 1972, с. 25—36.

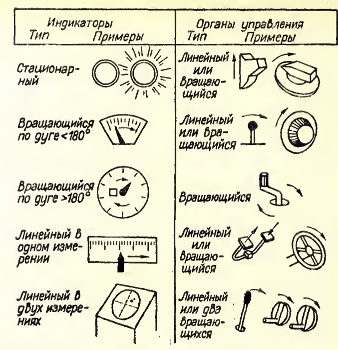



Рис. 8.4. Примеры согласования индикаторов и органов управления по форме и направлению движения (по К. Моргану, А. Чапанису и др.).

является *структурное соответствие расположения сигналов и органов управления* (а не просто их близкое расположение).

Согласование сенсорного и моторного полей приобретает особое значение в системах, где оператор действует в условиях острого дефицита времени. В качестве подтверждения этого можно также привести примеры из практики летчиков.

На многомоторных винтовых самолетах предусмотрена специальная система флюгирования воздушного винта. В случае отказа одного из двигателей эта система служит для установки лопасти винта отказавшего двигателя по потоку воздуха так, чтобы винт не создавал отрицательную тягу. Появление на одном из двигателей отрицательной тяги в условиях полета представляет собой чрезвычайно опасное явление: она вызывает резкое накренение самолета — аварийную ситуацию, при которой резервное время исчисляется несколькими секундами (это было показано в гл. IV). Управление системой флюгирования осуществляется с помощью специальных кнопок. При нажатии на кнопку выключается отказавший двигатель и одновременно лопасти его винта устанавливаются во флюгерное положение. На самолете

имеется световая сигнализация об отказе двигателя. Когда загорается красная лампочка, указывающая на отказ данного двигателя, летчик должен немедленно нажать на кнопку флюгирования этого двигателя, выключая тем самым двигатель и устанавливая во флюгерное положение его винт. Лампочки, сигнализирующие об отказе двигателя, размещены в центре приборной доски, кнопки же флюгирования — на потолке кабины над головой летчика. Бывали случаи, когда при отказе одного двигателя и появлении на приборной доске сигнала об этом, летчики в подобной экстремальной ситуации по ошибке нажимали кнопки флюгирования другого двигателя, т. е. выводили из строя и второй двигатель, еще более усугубляя аварийную обстановку. Решение вопроса было достигнуто путем согласования сенсорного и моторного полей — установки внутри кнопок флюгирования сигнальных лампочек, включенных параллельно с основными сигнализаторами отказа двигателей. Теперь при отказе двигателя загорается сигнальная лампочка на приборной доске и в той кнопке флюгирования, которую следует нажимать. Благодаря такому согласованию были исключены случаи ошибочного флюгирования двигателей.

Данный пример показывает, что наилучшим вариантом взаимосвязи сигналов с соответствующими им органами управления является такой, при котором информация используется там, где она возникает, т. е. *место приложения действия совпадает с местом появления сигнала.*

Таким образом, из сказанного можно заключить, что выбор органов управления приходится осуществлять с учетом целого ряда психологических критериев. Наряду с ними при таком выборе приходится, очевидно, принимать во внимание также критерии технического, экономического, эстетического и прочих порядков. Поэтому задача выбора конструкции органов управления практически сводится к поиску оптимального решения при заданном комплексе разнородных условий, требований и ограничений [12].

### VIII.3.2. ОЦЕНКА УПОРЯДОЧЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ СРЕДСТВ ИНДИКАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ НА ПУЛЬТЕ ОПЕРАТОРА

Наличие большого числа психологических факторов, обусловливающих размещение на пульте оператора индикаторов и органов управления, естественно, усложняет нахождение единых критериев оценки степени согласованности пульта с психологиче-

---

[12] Более подробно некоторые вопросы согласования органов управления с управляющими действиями оператора изложены в статье И. Е. Цибулевского «Ошибочные реакции человека-оператора в системе управления (обзор зарубежных исследований)» («Автоматика и телемеханика», 1977, № 6, с. 112—144).

скими особенностями деятельности оператора. Однако в инженерной психологии имеется практическая необходимость в таких критериях как при разработке новых пультов, так и при оценке качеств существующих. Поэтому предпринимаются попытки создания приближенных методов для подобных оценок. Рассмотрим один из таких методов, который нашел практическое приложение. Речь идет о количественном методе оценки упорядоченности размещения элементов индикации и органов управления на пульте оператора, разработанном Ю. А. Гончаренко, П. Я. Шлаеном с соавторами [13].

При выборе критерия для таких оценок его авторы исходили из следующей предпосылки: если в деятельности оператора существует вполне определенная последовательность использования отдельных технических средств на пульте управления, то можно оценить, насколько размещение этих средств на данном пульте соответствует такой последовательности.

Предложенный метод включает в себя два этапа: на первом этапе при помощи графической схемы анализируется размещение средств на пульте, на втором путем математических расчетов по данным, полученным на первом этапе, производится анализ этого размещения. Рассмотрим последовательно процедуры применения данной методики.

1. На отдельном листе бумаги в определенном масштабе вычерчивается развернутая схема передней проекции оцениваемой панели, и на ней отмечаются точки размещения элементов индикации и средств управления. Все эти точки, независимо от их назначения, нумеруются в той последовательности, в которой отображаемые ими средства используются оператором (рис. 8.5).

2. Исходя из рабочей позы оператора и его антропометрических характеристик (здесь берутся данные «среднего» оператора) на пульте определяется точка, через которую проходит линия центрального визирования при оптимальном угле наклона головы (0—5°) и фиксации глаз в «нулевом» положении. Эта точка наносится на чертеж пульта, и через нее проводятся оси координат (x, y). Далее на осях откладываются отрезки, соответствующие следующим угловым размерам: по оси y — вверх 23° и вниз 33°, а по оси x — вправо и влево по 31°. Пересчет угловых размеров в линейные осуществляется исходя из удаления оператора от пульта. Затем через концы отложенных отрезков проводятся пунктирные прямые, образующие прямоугольник. Область, ограниченная этим прямоугольником, считается *комфортной* зоной, с точки зрения информационного поиска (зона I на рис. 8.5). Все остальные средства на пульте, не попавшие в эту зону, относятся к *некомфортной* зоне (зоне II).

3. Далее для каждого элемента индикации и органа управления замеряется минимальное расстояние до осей координат.

[13] Эргономика. Принципы и рекомендации, вып. 4. М., 1972, с. 58—67.

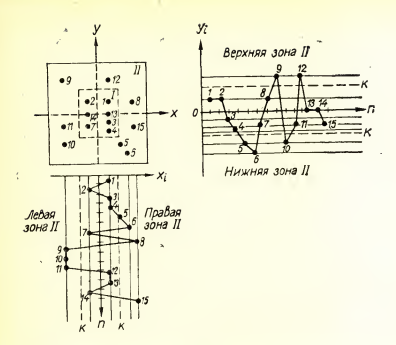



Рис. 8.5. Пример графического определения данных для расчета степени неупорядоченности размещения элементов на пульте оператора.

Такие отрезки ($x_i$ и $y_i$) для всех элементов и устройств откладываются с учетом знака на соответствующих графиках: x(n) — на расположенном справа от рисунка пульта и y(n) — на расположенном под этим рисунком. Таким образом, на каждом графике получается ломаная кривая, показывающая отклонение отдельных элементов пульта от оси x /на графике x(n)/ и от оси y /на графике y(n)/.

4. На этих кривых x(n) и y(n) через точки с максимальным значением ординаты $x_i$ и $y_i$ проводятся параллельные оси прямые, определяющие границы максимального угла отклонения от центра линии визирования (на рис. 8.5 не показаны). Подобным же образом проводятся прямые и через точки с меньшими значениями ординат, образующие промежуточные уровни отклонения оси визирования от осей x и y. На отдельных уровнях оказывается по нескольку элементов, расположенных на данной вертикали или горизонтали пульта. Так, на рис. 8.5 на одном горизонтальном уровне располагаются два последовательных элемента 1 и 2, а также 13 и 14; на вертикальном уровне их имеется еще больше (9, 10, 11 и др.). На графиках наносятся также пунктирные линии, определяющие границу зоны I и II на пульте.

5. Далее проводится анализ полученных на графиках x(n) и y(n) проекций зрительного маршрута с точки зрения наличия в них вертикальных, горизонтальных и наклонных переходов (перемещений глаз) при визировании последовательных элементов зрительного маршрута. Затем осуществляется операция группировки последовательностей элементов в соответствующие вертикальные, горизонтальные и наклонные ряды. Критерием такой группировки является выполнение следующего условия:

$$x_{i+1} - x_i \leqslant a_\phi \quad \text{и} \quad y_{i+1} - y_i \leqslant a_\phi.$$

Это условие вытекает из соображения, что в каждую группу может входить ряд последовательных элементов, ординаты которых отличаются между собой не более чем на величину $a_\phi$. Величина же $a_\phi$ выбирается равной трехкратному значению угла фовеального зрения ($a_\phi = 3°$), пересчитанному на линейные единицы, с учетом удаления пульта от глаз оператора. Иначе говоря, каждая группа («горизонтальная», «вертикальная», «наклонная») включает в себя такое число последовательных элементов, какое может разместиться на соответствующем участке $a_\phi$. Таким образом, на пульте выделяется некоторое число «горизонтальных», «вертикальных» и «наклонных» групп. При этом объединение элементов в группы осуществляется отдельно для I и II зоны пульта (в том случае, когда такая группа оказывается на границе двух зон, то элементы, попавшие в соседнюю зону, заменяются «фиктивными элементами», как бы расположенными на границе зон). В «наклонную» группу могут попадать элементы, которые оказались учтенными в «горизонтальной» или «вертикальной» группах.

6. С данного действия начинается второй этап рассматриваемой методики — этап количественных оценок степени неупорядоченности размещения элементов на пульте. Исходя из числа выделенных групп рассчитывается первый показатель неупорядоченности ($\eta$) отдельно относительно осей x и y, для чего используются следующие формулы:

$$\eta_x = \frac{n_г + n_н + n_у - 2}{2(n_{об} - 1)}; \quad \eta_y = \frac{n_в + n_н + n_у - 2}{2(n_{об} - 1)}, \tag{8.1}$$

где $n_г$, $n_в$, $n_н$ — соответственно число «горизонтальных», «вертикальных» и «наклонных» групп,

$n_у$ — число уровней группировки,

$n_{об}$ — общее число элементов.

Эти показатели рассчитываются по формуле (8.1) отдельно для I и II зоны пульта.

7. Для расчета степени случайности разброса в размещении элементов на пульте используются и следующие показатели степени их неупорядоченности: $k_x$ и $k_y$ относительно горизонтальной

и вертикальной оси пульта, известные под названием «критерия фон Неймана»:

$$k_x = \frac{\sum_{i=1}^{m_{об}-1} (x_{i+1} - x_i)^2}{\sum_{i=1}^{m_{об}} (x_i)^2} \cdot \frac{m_{об}}{m_{об} - 1};$$

$$k_y = \frac{\sum_{i=1}^{m_{об}-1} (y_{i+1} - y_i)^2}{\sum_{i=1}^{m_{об}} (y_i)^2} \cdot \frac{m_{об}}{m_{об} - 1}, \qquad (8.2)$$

где $m_{об}$ — количество шагов в данной зоне.

Формула (8.2) используется для определения указанных показателей отдельно для зон I и II. Поскольку при избранном ограничении зон показатели $k_x$ и $k_y$ могут принимать значения в интервале 0—4, то для каждой зоны можно получить следующие коэффициенты соответственно по отношению к оси x и y:

$$k_x^0 = \frac{k_x}{4}; \quad k_y^0 = \frac{k_y}{4}. \qquad (8.3)$$

8. Общие показатели неупорядоченности размещения элементов на пульте относительно каждой из осей x и y для рассматриваемых зон находятся по формулам:

$$L_x = \frac{k_x^0 + \eta_x}{2}; \quad L_y = \frac{k_y^0 + \eta_y}{2}. \qquad (8.4)$$

Для учета переходов зрительного маршрута из одной зоны в другую используются некоторые дополнительные уточняющие формулы.

*Итоговая оценка неупорядоченности* размещения средств индикации и управления на пульте находится как среднее значение:

$$L = \frac{L_x + L_y}{2}. \qquad (8.5)$$

Изложенная методика была применена авторами для установления связи между показателем степени неупорядоченности (L) размещения элементов на пульте со средним временем поиска одного элемента ($\Delta t$). Полученные ими экспериментальные кривые для различного числа элементов на пульте представлены на рис. 8.6. Экспериментальные зависимости математически могут быть описаны следующей формулой:

$$\Delta t = 0{,}5 + 1{,}7\left(1{,}5^{\frac{m-1}{2s}} - 1\right)\left[1 + \frac{4}{\pi}\operatorname{arctg}(2L - 1)\right], \qquad (8.6)$$

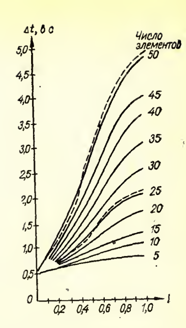



Рис. 8.6. Зависимость среднего времени поиска элемента на пульте от степени упорядоченности размещения его элементов (по Ю. А. Гончаренко, П. Я. Шлаену и др.). Сплошными линиями обозначены расчетные кривые, пунктирными — экспериментальные.

где m — общее число элементов индикации и управления на пульте.

В формуле (8.6) не учитывается величина площади панели, поскольку, как показал эксперимент, этот показатель мало отражается на приведенной зависимости. Следует отметить, что представленные на рис. 8.6 кривые и апроксимирующая их формула (8.6) были получены применительно к случаю поиска элементов на пульте неопытным оператором при условии, что эти элементы отличались между собой только по одному признаку. Поскольку оператор при поиске технических средств на пульте обычно опирается на несколько различительных признаков этих средств (местоположение, размер, цвет, форма и т. д.), то среднее время поиска, рассчитанное по формуле (8.6), приходится соответствующим образом корректировать. Авторы методики считают возможным в таком случае группировать элементы пульта по указанной совокупности признаков и для каждой группы рассчитывать среднее время поиска одного ее элемента, с учетом числа элементов в группе и их неупорядоченности. Общее время ($T_{ип}$), затрачиваемое оператором на информационный поиск, в таком случае определяется по формуле:

$$T_{ип} = \sum_{i=1}^{\nu} \Delta t_i \cdot n_i, \qquad (8.7)$$

где $\Delta t_i$ — среднее время поиска одного элемента i-й группы,
$n_i$ — число обращений к элементу i-й группы,
$\nu$ — число групп элементов.

Отмечается, что эффект использования оператором группируемости элементов по отличительным признакам возрастает с увеличением уровня его подготовки и это влияние может быть описано экспоненциальной зависимостью.

## VIII.4. УПРАВЛЕНИЕ МАШИНОЙ ПОСРЕДСТВОМ РЕЧЕВЫХ КОМАНД

Возможности современной радиоэлектроники по распознаванию звуковых образов, а также формированию различных звуковых сигналов позволяют в наше время поставить вопрос об использовании речевых команд для непосредственного управления машинами и о речевом диалоге человека с машиной. Отметим основные выгоды, которые может дать замена обычного ручного (ножного) управления речевым.

Во-первых, при использовании для управления машиной речевых команд существенно *облегчается работа* оператора, поскольку человек по природе более приспособлен для передачи информации посредством речи, нежели с помощью движений конечностями. Поэтому произнести короткую речевую команду ему всегда легче, чем выполнить самое простое моторное действие рукой или ногой. Отсюда и утомление при речевом управлении оказывается гораздо меньшим, чем при ручном. Ввод речевых команд не требует повышения громкости речи и длительной непрерывной работы. Анализ деятельности оператора в некоторых существующих системах с голосовым вводом информации показывает, что темп отдачи команд, диктуемый оператору системой, не превышает 2 с на команду.

Во-вторых, ввод речевых команд осуществляется примерно в 2,5 раза *быстрее,* чем ввод двигательных команд (только для команд с неопределенностью менее 2 бит эти скорости оказываются одинаковыми).

В-третьих, при речевом вводе сигналов человек допускает гораздо *меньше ошибок,* чем при ручном: в вербальном выражении умозаключения по решению возникшей задачи значительно меньше вероятность допустить ошибку, нежели тогда, когда это решение перекодируется в ручные моторные действия. Поэтому при речевом управлении менее вероятны т. н. «глупые» ошибки оператора, его промахи. К тому же ошибочно выданная речевая команда обычно сразу же обнаруживается; ошибка же при выборе кнопки, трумблера чаще всего выявляется уже после отработки системой введенной команды.

В-четвертых, благодаря речевому управлению *расширяется оперативность управления:* речевые команды могут использоваться как дополнительный канал ввода информации, наряду с

ручным управлением, причем эти каналы могут действовать как последовательно, так и параллельно. При речевом управлении увеличиваются возможности совместного дистанционного управления системой несколькими рассредоточенными в пространстве операторами (с регламентацией по времени выхода каждого из них на управление).

В-пятых, при использовании речевого управления *сокращается срок подготовки операторов*. Если для формирования двигательных навыков требуются месяцы, то подготовка оператора, способного успешно осуществлять голосовое управление, занимает несколько часов, дней, необходимых для освоения словаря информационно-управляющей системы и правил управления.

Рассматриваемые системы имеют и свои недостатки: необходимость обеспечения соответствующей звукоизоляции, исключения посторонних разговоров, высокую сложность и стоимость системы. Однако ранее названные достоинства таких систем значительно превалируют над их недостатками.

Речевое управление может использоваться для установления режимов работы системы, для ввода команд, корректирующих ее работу, для запроса данных, которые могут потребоваться по ходу управления.

Следует хотя бы кратко остановиться на основных принципах, положенных в основу машинного распознавания звуковых образов, поскольку от разрешения именно этой проблемы в основном и зависит практическая реализация систем с речевым управлением. В настоящее время опубликован целый ряд работ, систематизирующих результаты исследований этой проблемы и их практического применения [14]. Отметим некоторые основные подходы к решению указанной проблемы, вытекающие из этих работ.

Для машинного распознавания человеческой речи обычно используются три ее аспекта:

— акустическая структура (амплитудно-частотные, частотно-временные и амплитудно-временные характеристики);

— лингвистическая структура (морфологическая и синтаксическая);

— семантика (содержание) передаваемой в ней информации.

В основу распознавания звуковых образов в настоящее время положена *акустическая структура речи*. В качестве единиц речи, образующих слова, в лингвистике используются ф о н е м ы [15] — некоторые совокупности функциональных признаков речи, существенные для различения слов. Однако, как показали исследования, машинное распознавание речи непосредственно на основе фонем пока осуществить не удается, поскольку отдельно

---

[14] Распознавание слуховых образов. Под ред. Н. Г. Загоруйко, Г. Я. Волошина. Новосибирск, 1970. 338 с.; Речевое общение в автоматизированных системах. Под ред. И. Т. Турбовича. М., 1974. 129 с.; Цемель Т. И. Опознавание речевых сигналов. М., 1971. 148 с.

[15] Ф о н е м а — от греч. phōnēma звук, речь.

взятая фонема по своей акустической структуре сильно отличается от той же фонемы, но включенной в слово (получается различная динамика акустического спектра). Поэтому распознавание звуковых образов посредством машин осуществляется в настоящее время на базе более мелких акустических элементов речи — т. н. сегментов (квазистационарных участков спектра) длительностью порядка 10—15 мс. Итак, по акустическому спектру речи машина вначале распознаёт сегменты, по ним — фонемы, а по фонемам — отдельные слова. Полученные в результате распознавания речи образы далее соотносятся с *законами лингвистики* (в частности, с правилами сочетания фонем) и *семантическими характеристиками* оцениваемых слов. Подобным путем в настоящее время осуществляется распознавание отдельных слов или их небольших групп.

Трудности машинного распознавания речи оказываются обусловленными не только изменчивостью акустического спектра фонем, но и существенными различиями этого спектра, возникающими при произнесении одной и той же фонемы различными людьми. За счет индивидуальности акустического спектра представляется возможным машинное распознавание различных дикторов. Указанное обстоятельство вызывает необходимость осуществления специальной подстройки системы распознавания индивидуально для каждого диктора. Благодаря такой стабилизации акустических условий удается достигать надежности машинной идентификации слов до 96—97%. С введением в распознающие устройства систем контроля за речевым вводом информации надежность работы распознающих устройств может быть еще более повышена.

В настоящее время речевое управление уже реализовано в ряде систем. Так, существуют системы речевого управления станками. В ряде случаев для их управления оказалось достаточным всего 5—10 слов, причем благодаря небольшому словарю управления удается получать более простые и надежные системы распознавания речи. Существует система речевого управления металлорежущим станком, действующая со словарем в 250 слов.

При создании систем речевого диалога между человеком и машиной, наряду с распознаванием речи, возникает задача воспроизведения речи. Последняя может решаться как путем предварительной записи речи и ее передачи адресату в нужный момент, так и более сложным, дорогим путем — посредством синтеза речевых сигналов. Первый путь целесообразен при сравнительно небольшом словаре ответных сигналов, поскольку с ростом словаря соответственно возрастает время поиска ответных слов.

Наряду с перечисленными выгодами использования систем с речевым управлением, следует специально остановиться еще на одном достоинстве подобных систем — достоинстве, особенно

существенном с точки зрения инженерной психологии. Как было показано в предшествующих главах, одним из путей повышения надежности работы систем «человек—машина» является введение контроля за состоянием оператора и автоматической коррекции в соответствии с этим состоянием работы технической части системы.

С использованием голосового ввода информации открываются большие возможности для *контроля за текущим состоянием оператора*. По характеристикам речи представляется возможным выявлять не только индивидуальные особенности произношения диктора, но и судить о его физическом и эмоциональном состоянии. По изменениям во временны́х характеристиках речевого сигнала, динамике его акустического спектра, энергетическим, частотным и некоторым другим показателям возможно, как показали эксперименты, выводить заключение о сдвигах, возникающих в состоянии оператора. Наиболее простым и доступным показателем состояния оператора являются временны́е характеристики его речи (скорость произношения слов, продолжительность пауз). Такая оценка обычно осуществляется по произношению отдельных слов, которые повторяются в различных командах. Опыт показывает, что по временны́м показателям речи можно обнаружить утомление оператора раньше, чем оно станет отражаться на показателях его деятельности. Преимущество такого метода контроля за состоянием оператора заключается и в том, что здесь не требуются специальные датчики и контроль ведется непрерывно в течение всего процесса работы и не сопряжен ни с какими помехами для деятельности оператора.

* * *

На этом заканчивается описание технических средств деятельности оператора (индикаторов и органов управления) с точки зрения их психологического соответствия этой деятельности. Переходим к следующему разделу данного курса — к рассмотрению методов анализа взаимодействия оператора с этими средствами, методов описания этого взаимодействия.

# Раздел IV. ОПИСАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ «ЧЕЛОВЕК—МАШИНА»

## Глава IX. Методы отображения и анализа деятельности оператора

### IX.1. МЕТОДЫ СБОРА ДАННЫХ О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА

Все предшествующее изложение настоящего курса было направлено на выявление психологических факторов и закономерностей, обусловливающих деятельность человека-оператора в системе управления. Из отдельного рассмотрения основных выходных показателей этой деятельности (характеристик пропускной способности информации, быстродействия, точности, надежности) следовало, что каждый из них зависит от множества различных факторов и между ними существует сложная функциональная связь. Так, например, было установлено, что показатель точности зависит от имеющегося времени, а обе эти характеристики определяют пропускную способность информации; что все названные показатели сказываются на надежности оператора, а надежность определяет значимость действия, которая, в свою очередь, отражается на указанных выше характеристиках. На основании рассмотрения технических средств оператора было также установлено их весьма разнообразное и сложное влияние на процесс и результаты деятельности оператора.

Чтобы разобраться во всем этом множестве факторов, определяющих деятельность оператора, очевидно, необходимы специальные методики, позволяющие как-то объединять, систематизировать эти сведения, выделять наиболее существенные из них. Отметим при этом, что все эти сведения в инженерной психологии имеют не просто познавательное значение — на основе их должны выводиться конкретные суждения о структуре деятельности оператора, позволяющие принимать практические решения по проектированию систем. Поэтому здесь нужны различные методики, начиная от методик сбора данных, необходимых для анализа деятельности оператора, и вплоть до методик проведения такого анализа и практического использования его результатов.

В последнее время в инженерной психологии ведутся активные поиски путей наиболее целесообразного сбора, систематизации и анализа инженерно-психологических данных о деятельности оператора применительно к решению задач проектирования

и оценки систем «человек—машина». Они привели к созданию целого ряда методик. Некоторые, наиболее распространенные из них будут описаны в настоящей главе. В данном параграфе остановимся пока только на основных методах сбора информации о деятельности оператора:

— изучение технической документации и оборудования системы,

— наблюдение за деятельностью оператора в процессе управления,

— регистрация объективных показателей его деятельности,

— экспериментальное исследование элементов этой деятельности,

— анализ ошибок оператора,

— экспертные оценки отдельных показателей деятельности,

— беседы с операторами.

Все эти методы используются применительно к следующим трем наиболее типичным задачам:

а) когда требуется провести анализ деятельности оператора в уже функционирующей системе, с целью психологической оценки этой деятельности или использования полученных данных при проектировании подобной системы;

б) когда по проектной документации или уже имеющемуся оборудованию нужно оценить условия деятельности оператора в новой системе;

в) когда при проектировании человеко-машинной системы требуется выявить и изучить некоторые показатели и условия будущей деятельности в ней человека-оператора.

Рассмотрим кратко сущность каждого из названных выше методов применительно к разрешению перечисленных задач.

1. **Метод изучения технической документации и оборудоваиия** системы позволяет *знакомиться с задачами, которые разрешает* (или должен будет разрешать) *оператор, и с условиями его деятельности.* Сбор необходимых данных этим методом обычно начинается с изучения технической документации. На основании технических описаний, блок-схем, чертежей, инструкций по обслуживанию системы определяется перечень функций, которые возлагаются на систему, предъявляемые к ней требования и ограничения по ее применению. Исходя из этих документов, выявляются функциональные обязанности оператора, требования к нему и ограничения, налагаемые на его деятельность. Полученные сведения о работе оператора могут быть расширены за счет изучения инструкций и специальных указаний по деятельности оператора в системе. В подобных инструкциях обычно детализируются правила работы оператора при различных режимах действия системы, указываются нормы его поведения в особых случаях, даются предостережения от возможных ошибок. Сведения об особенностях деятельности оператора могут быть дополнены также

данными, полученными из его рабочих журналов или другой отчетной документации.

Все эти сведения, полученные из технической документации, могут быть расширены за счет непосредственного изучения самой техники, с которой работает оператор: его рабочего места, приборных пультов, органов управления. Используя данный метод, можно составить общее представление о задачах оператора, степени их сложности, условиях деятельности, режимах работы и других ее особенностях.

2. **Метод наблюдения за деятельностью оператора** оказывается особенно эффективным в тех случаях, когда эта деятельность носит преимущественно *двигательный характер.* С его помощью можно получать сведения, касающиеся следующих аспектов деятельности:

а) каналов получения информации (от какого источника, в каком объеме);

б) характеристик поступающей информации (модальности сигналов, их кодирования, изменения во времени, значимости, информационной нагрузки, помех, особенностей восприятия);

в) способов ввода управляющих воздействий (особенностей управляющих движений, их направления, характера антропометрических и силовых характеристик, периодичности, связи с рабочей позой);

г) уровня нагрузки, напряженности, утомления оператора (оценивается по поведению оператора, его эмоциональным реакциям, концентрации внимания на выполняемых действиях);

д) внешних условий деятельности (наличия факторов, нарушающих нормальные условия жизнедеятельности, их интенсивности и длительности действия).

При использовании данного метода весьма существенно четкое предварительное *выделение* тех *показателей,* которые будут оцениваться при данном конкретном наблюдении. Важно заранее определить меры дискретности — *элементарные единицы деятельности,* с точностью до которых должно вестись наблюдение. Наблюдение может осуществляться визуально и с использованием записывающих средств (киноаппарата, магнитофона). При визуальном наблюдении полученные данные заносятся в журнал в виде вербальных отчетов и таблиц, группирующих однородные данные о числе действий, времени их выполнения (фиксируется секундомером). Присутствие наблюдателя, естественно, отражается на деятельности испытуемого, поэтому при использовании данного метода приходится принимать специальные меры по снижению этого нежелательного эффекта.

Наблюдение за деятельностью оператора может осуществляться как в течение сравнительно продолжительного времени (рабочих дней, часов), так и кратковременно, выборочно. Приходится учитывать, что многие данные, полученные рассматриваемым методом, носят субъективный характер. Снизить влияние

этого фактора возможно путем использования нескольких наблюдателей и накопления такой статистики, которая позволяет выводить суждения о результатах наблюдения с достаточно высокой степенью достоверности.

3. **Метод регистрации объективных показателей деятельности** требует, в отличие от рассмотренного метода наблюдений, *использования специальной аппаратуры,* которая инструментально *фиксирует различные движения оператора* и связанные с ними *технические параметры работы системы,* а также его *физиологические показатели.* Попутно с указанной аппаратурой здесь используются и инструментальные средства фотохронометража и звукозаписи, которые применяются при наблюдении.

Регистрация движений рук и ног оператора осуществляется посредством различных самописцев, которые, наряду с характеристиками его движений, часто синхронно фиксируют и происходящее при этом изменение рабочих параметров управляемого объекта. Эффективным средством получения важной информации о деятельности оператора является регистрация *движений его глаз* в процессе этой деятельности. Такая регистрация осуществляется различными техническими методами. Наиболее точно (с точностью до угловой минуты) удается фиксировать движения глаз посредством специального датчика, укрепленного с помощью присоска на глазном яблоке. В настоящее время разработана аппаратура, позволяющая фиксировать движение глазного яблока и без использования присоска (путем улавливания перемещений отраженного от него луча). Движения глаз с точностью до нескольких градусов можно фиксировать также путем их непосредственной киносъемки или путем записей изменений биопотенциалов глазных мышц.

Весьма удобным средством сбора информации о деятельности оператора является фиксация его управляющих движений синхронно с фотографированием показаний индикаторов на приборном пульте, по которым действует оператор. При таком методе представляется возможным соотносить движения оператора непосредственно с формой представления информации на приборном пульте. В настоящее время разработаны методы, позволяющие, попутно с этими данными, фиксировать движения глаз оператора и получать на киноленте, наряду с изменением показаний индикаторов, также соответствующие отметки, показывающие, на какой прибор направлен в данный момент взгляд оператора. При этом представляется возможность связывать изменения в показаниях индикаторов с движениями как глаз, так и рук или ног оператора.

Попутно с регистрацией движений оператора часто записываются и некоторые его физиологические показатели (частота пульса, закономерности дыхания, электрокардиограмма, энцефалограмма, электромиограмма отдельных мышц, кожно-гальванический рефлекс, кровяное давление). Указанные физиологиче-

ские параметры оператора фиксируются синхронно с другими характеристиками его деятельности и используются главным образом для приближенной оценки уровня напряженности оператора, его эмоционального состояния, энергетических затрат и т. п. Данным методом возможно получение разнообразных объективных показателей о работе и жизнедеятельности оператора, особенно если их удается фиксировать в реальных условиях его труда. Однако, используя этот метод, приходится учитывать, что подключение к оператору различных датчиков неизбежно связано с вторжением экспериментатора в деятельность испытуемого и в связи с этим с некоторыми ее искажениями.

4. **Метод экспериментального исследования элементов деятельности** отличается от метода наблюдения или регистрации объективных показателей тем, что здесь *экспериментатор* не просто фиксирует процесс или фактические результаты деятельности, выполняемой по обычной рабочей программе, а *задает свою программу действий,* свои задания. Такие эксперименты чаще проводятся в лаборатории, однако иногда их выполняют и в реальных условиях деятельности (естественные эксперименты). Целью тех и других экспериментов является выявление отдельных зависимостей между показателями деятельности оператора, их связи с характеристиками работы системы.

Подобные эксперименты в лабораторных условиях осуществляются с использованием специальной аппаратуры, моделирующей отдельные элементы управляющей деятельности, часто с непосредственным применением ЭВМ. В естественном эксперименте обычно специально создаются и изучаются различные сложные или даже стрессовые ситуации, возможные в деятельности оператора, и в таких условиях регистрируются его действия, измеряются различные физиологические показатели. Иногда для определения уровня загрузки или напряженности оператора, концентрации его внимания на управлении в естественном эксперименте используют *метод дополнительных задач.* В таких случаях оператор, наряду с управлением системой, решает отдельные предлагаемые экспериментатором задачи, связанные с сенсомоторными реакциями, арифметическими или логическими действиями. Его деятельность при этом оценивается по результатам решения основных и дополнительных задач.

5. **Метод анализа ошибок оператора** позволяет получать важную *информацию о сложных* для него *действиях,* о их роли в деятельности, об *его отношении* к выполнению таких действий. Все обнаруженные отказы и ошибки оператора подвергаются соответствующему психологическому анализу на основе существующих методов их классификации (они были изложены в гл. V). Здесь требуется *выявить* не только *содержание ошибки,* но и *причины ее возникновения, возможности оператора своевременно обнаруживать и исправлять* такую *ошибку,* а также *предотвращать ее отрицательные последствия.* Среди ошибок оператора

специально выделяются такие, которые порождаются техническими факторами. Определяются действия, операции, при выполнении которых ошибки возникают особенно часто. Все полученные данные подвергаются статистической обработке, после чего используются для анализа деятельности оператора.

6. **Метод экспертных оценок** применяется в тех случаях, когда *не представляется возможным каким-либо объективным методом оценить* отдельные *показатели или характеристики* деятельности оператора. Для таких экспертных (референтных) оценок привлекаются опытные операторы, каждому из которых предъявляется серия одинаковых, четко сформулированных вопросов, направленных на выявление их мнения о деятельности или состоянии оператора в заданных условиях или об отдельных устройствах или качествах системы. Ответы могут даваться либо в свободной форме, либо путем выбора одного из нескольких вариантов, либо путем указания количественной оценки в пределах заданной шкалы (например, в баллах или процентах). Последние два вида ответов предпочтительнее, поскольку позволяют после опроса получать однородные данные, поддающиеся статистической и машинной обработке.

7. **Метод бесед с операторами** используется *для выявления тех элементов деятельности,* которые также *не поддаются инструментальной объективной оценке,* но которые обычно *ясно отражаются в сознании.* Для бесед привлекаются, как правило, различные операторы, независимо от их опыта работы (иногда различие в оценках опытных и неопытных операторов является основой для выводов определенных суждений об особенностях данной деятельности). В беседе перед каждым оператором ставятся однотипные, четко сформулированные вопросы, исключающие неоднозначность их трактовки. В подобных случаях ответы могут стандартизироваться и подвергаться статистической обработке. Кроме того, беседы применяются и в качестве *средства для получения дополнительной информации* ко всем вышеизложенным методам. В подобных случаях используется вольное изложение оператором его мнений, впечатлений, данных самонаблюдения, уточняющих его поведение в проведенных опытах, отношение к ним.

## IX.2. МЕТОДЫ ОПИСАНИЯ И АНАЛИЗА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА

### IX.2.1. ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА УРОВНЕ СИСТЕМЫ

*Анализ* любой *деятельности* предусматривает ее *расчленение на отдельные компоненты* по соответствующим специально избранным критериям или признакам. В зависимости от поставленной цели и глубины такого анализа, это расчленение может производиться *с разной степенью детализации.* Однако в любом случае анализ должен осуществляться *по* вполне *конкретной схеме* и учитывать точно определенный перечень факторов и их связей, а главное, *иметь конкретную цель.*

Применительно к операторской деятельности можно выделить следующие цели такого анализа:

— анализ уже существующей деятельности для ее оценки и оптимизации;

— анализ существующей или гипотетической деятельности с целью создания новой, более совершенной;

— анализ существующей или формируемой деятельности в целях ее моделирования и описания (с последующим использованием этого описания для более глубокого изучения деятельности).

Каждый из указанных подходов может преследовать и более узкие цели: приспособления деятельности человека к машине, приспособления машины к человеку или взаимного приспособления.

Для того чтобы осуществить тот или иной вид анализа деятельности оператора, необходимо прежде всего дать ее описание на том уровне детализации, на котором будет осуществляться анализ. С этой точки зрения можно выделить два способа описания деятельности оператора:

1) описание деятельности на уровне системы,

2) описание деятельности на уровне отдельных операций.

Первый способ описаний служит для раскрытия и отображения только общих психологических особенностей, присущих всей рассматриваемой деятельности (ее организации, композиции, структуре, составу и т. п.). Второй способ предназначен для отображения отдельных частей этой деятельности, с представлением их операционной структуры и раскрытием психологического содержания отдельных действий и операций. Последний способ используется и для описания действий оператора при разрешении отдельных частных задач.

К описанию общих закономерностей и особенностей деятельности оператора на уровне системы можно подходить, используя различные методы:

— отображения перечня выполняемых оператором функций (иногда с учетом их взаимосвязи и условий осуществления);

— отображения связей, которые установились у оператора с техническими звеньями системы;

— совместного отображения перечня функций и связей.

Рассмотрим некоторые из этих методов более подробно.

**Метод описания перечня функций,** выполняемых оператором в системе, фактически сводится к *вербальному перечислению и описанию действий оператора,* их внешних проявлений и связанных с ними психологических процессов, которое обычно дается в соответствующих таблицах. Для получения таких однородных описаний различных систем вначале составляется общий стандартизованный широкий перечень функций, которые, возможно, придется выполнять оператору в данной системе управления. Затем для каждой конкретной задачи применения этой системы отмечаются те из названных функций, которые фактически выполняет в ней оператор.

Таким образом, после рассмотрения комплекса наиболее типичных задач, разрешаемых посредством данной системы, и вероятности появления отдельных из них возможно выделить *перечень основных функций, которые чаще всего приходится выполнять оператору* данной системы. На основе подобных перечней функций можно произвести сопоставление особенностей деятельности оператора в различных системах.

В подобных перечнях могут указываться не только вероятности выполнения отдельных функций, но также временные и точностные показатели, с которыми обычно выполняются эти функции, вероятности появления ошибок при их выполнении, характер этих ошибок, уровень напряженности при их выполнении и пр.

В качестве примера перечня функций оператора может служить перечень, предложенный Дж. Рабидо (G. Rabideau)[1]. Автор делит функции оператора на соответствующие группы, исходя из связанных с ними психических процессов: перцептивных, опосредующих, коммуникативных и моторных. Фрагменты из этого перечня представлены в таблице 10.

**Метод многомерно-весового описания** деятельности оператора был разработан В. А. Бодровым, Г. М. Зараковским и В. И. Медведевым[2]. Сущность его заключается в *объединении в одной общей схеме наиболее существенных факторов и показателей,* определяющих деятельность оператора, и *в представлении этих переменных* (различного содержания, вида, разной природы и т. п.), *с учетом их удельных весов и связей, в единой стандартизованной форме.* Данный метод, как и предшествующий, служит для отображения функций оператора, однако здесь эти функции

[1] Полностью этот перечень функций оператора приведен в книге М. Монмолена «Система «человек и машина»» (М., 1973, с. 177—178).

[2] Введение в эргономику. М., 1974, с. 111—119.

Таблица 10

| Процессы | Действия | Специфика поведения |
|---|---|---|
| Перцептивные | Поиск и прием информации | Обнаружение<br>Осмотр<br>Наблюдение<br>Считывание |
| | Идентификация объектов, действий, событий | Различение<br>Идентификация<br>Локализация |
| Опосредствующие | Информационные процессы | Распределение по категориям<br>Расчет<br>Кодирование |
| | Решение проблем и принятие решения | Анализ<br>Расчет<br>Выбор<br>Сравнение |
| Коммуникативные | | Извещение<br>Ответ<br>Общение |
| Моторные | Простые (дискретные) | Активизация<br>Замыкание<br>Соединение<br>Движение |
| | Сложные (непрерывные) | Пригонка<br>Настройка<br>Слежение |

представляются с учетом их удельного веса в деятельности и взаимосвязей.

Для осуществления такого описания требуется, прежде всего, выделить все те показатели деятельности и все те факторы, влияние которых на деятельность признается наиболее существенным и которые подлежат включению в схему. Далее требуется выразить показатели всех этих разнородных и качественно различных факторов в едином безразмерных величинах, например в весовых коэффициентах или баллах. При таком безразмерном выражении представляется возможным все включенные в рассмотрение переменные объединить в одной схеме и рассматривать их совместно, с учетом их удельных весов в деятельности, т. е. осуществить многомерно-весовое описание общей деятельности оператора.

Принцип построения схем такого описания иллюстрируется

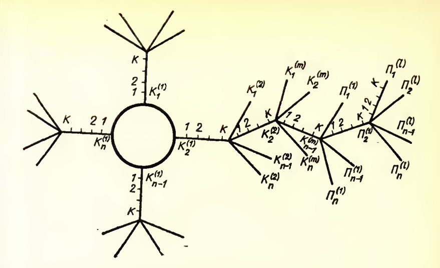



Рис. 9.1. Схема многомерно-весового описания системы «человек—машина» (по В. А. Борзову, Г. М. Зараковскому и В. И. Медведеву).

рисунком 9.1. Каждый выделенный для рассмотрения общий показатель определяется соответствующей координатой-критерием (К), которому присваивается определенный номер $K_1$, $K_2 \ldots, K_n$. Таким критерием может быть, например, форма организации входной информации, предъявляемой оператору, или способ воздействия оператора на систему и пр.

Координаты-критерии разделяются по уровням их иерархии в рассматриваемой деятельности оператора. Этот уровень указывается специальным индексом (вверху) при обозначении критерия ($K^{(1)}$, $K^{(2)}, \ldots$, $K^{(m)}$). Иерархия критериев избирается исходя из следующей последовательности: тип фактора, его класс, род, вид.

Для каждого критерия устанавливается его удельный вес в деятельности оператора, который выражается в безразмерных единицах (к) и изображается на схеме (рис. 9.1) определенным отрезком. На этом отрезке в принятом масштабе откладывается соответствующее число безразмерных единиц.

Как видно из схемы, от центрального круга, символизирующего ее начало, отходит четыре координаты-критерия наиболее высокого уровня $|K^{(1)}_1$, $K^{(1)}_2$, $K^{(1)}_{n-1}$ и $K^{(1)}_n|$. Критерием высшего уровня $K^{(1)}_2$ может быть, например, характеристика процесса переработки информации человеком. Эта характеристика в свою очередь может включать в себя ряд критериев второго уровня, например модальность сигнала $|K^{(2)}_1|$, форму отображения сигнала $|K^{(2)}_2|$ и т. д.

Координаты-критерии подразделяются на соответствующие качественно различные признаки (П), которые могут относиться к разным иерархическим уровням. Так, например, модальность

сигнала бывает зрительной $|\Pi^{(1)}{}_1|$ и слуховой $|\Pi^{(1)}{}_2|$. Форма отображения информации может также иметь разные признаки, например, признаки, рассчитанные на ее непосредственное $|\Pi^{(2)}{}_1|$ или кодовое $|\Pi^{(2)}{}_2|$ восприятие и т. п.

Таким образом, от критериев высшего уровня на схеме расходятся ветви критериев последующего уровня, от них — соответствующие ветви признаков, сначала наиболее высокого, затем все более низких уровней. Длины отрезков ветвей символизируют удельный вес каждого критерия или признака в деятельности оператора. Все эти критерии вместе взятые, а также признаки с их весами и их взаимосвязями образуют схему многомерно-весового описания деятельности оператора.

Подобные схемы строятся на основе анализа взаимосвязи рассматриваемых факторов в общей структуре деятельности оператора. Удельный же вес отдельных критериев и признаков в этой деятельности определяется путем непосредственных или косвенных измерений показателей работы оператора.

Так, например, чтобы оценить характер преобразования информации, присущий авиадиспетчеру, определяют время, затрачиваемое им за смену на замыкательное (непосредственное) реагирование на информацию и на выполнение репродуктивных логических операций.

Допустим, что на первый вид преобразования информации расходуется 20% времени, на второй — 60%, а на все остальные виды преобразований — оставшиеся 20%; тогда по пятибалльной системе эти три вида преобразования информации расцениваются соответственно в 1, 3 и 1 балл.

Путем подобного анализа было установлено, например, что для авиадиспетчера и шофера признак зрительной модальности информации расценивается в 5 баллов; что слуховая модальность важна для авиадиспетчера (5 баллов), а для шофера значительно меньше (2 балла); способ кодового отображения сигнала также оказывается важным для авиадиспетчера (5 баллов) и маловажным для шофера (1 балл).

При многомерно-весовом описании деятельности оператора предусмотрен и учет качественного своеобразия каждого отдельного вида деятельности путем введения соответствующих координат-критериев, определяющих уровень напряженности ее отдельных действий. При этом предполагается возможность учета отдельно операционной и эмоциональной напряженности деятельности оператора.

Рассматривая общую иерархическую схему многомерно-весового описания деятельности оператора, следует отметить, что на более высоком уровне в ней располагаются критерии составляющих самой деятельности, а затем уже следуют критерии, определяющие ее условия. Из последних выделяются далее критерии, обусловливающие мотивацию оператора, значимость для него

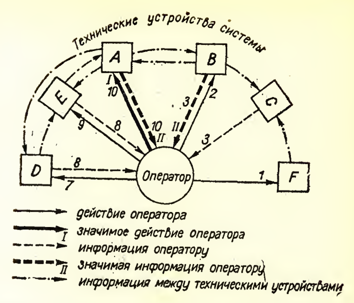



Рис. 9.2. Описание пространственной организации системы. Арабские цифры показывают частоту отдельных связей, римские — их значимость.

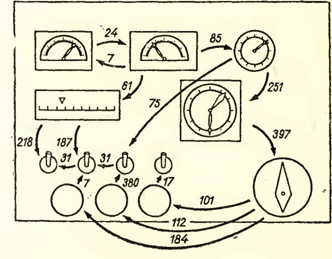



Рис. 9.3. Описание пространственной организации средств на пульте управления (по М. Моимолену).

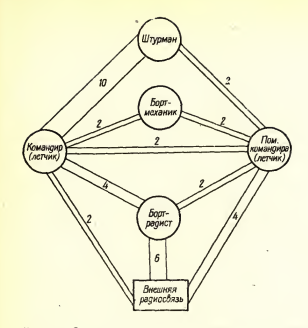



Рис. 9.4. Схема загрузки каналов связи между членами летного экипажа.

отдельных действий, критерии, определяющие уровень утомления оператора и его работоспособность.

Кроме схематического отображения, выделенные критерии и признаки могут быть представлены также в форме таблиц, где всем этим показателям присваиваются соответствующие номера, которые отражают их взаимосвязь в рассматриваемой деятельности.

**Метод пространственно-организационного описания** деятельности является сравнительно простым и легко реализуемым, поскольку в его основе лежит только *установление и анализ взаимного расположения и взаимосвязей между оператором и техническими элементами системы.* Такой анализ осуществляется посредством схемы, на которой изображаются технические элементы машины, органы индикации, управления, с одной стороны, и оператор или группа операторов — с другой. Связи, существующие между этими компонентами системы, изображаются в виде стрелок, указывающих направление передачи информации или приложения воздействия. С помощью формы изображения соединяющих стрелок кодируется характер связи, иногда ее значимость, цифры около стрелок указывают на частоту использования данной связи. Пример подобной схемы представлен на рис. 9.2.

Рассматриваемый метод широко используется при анализе

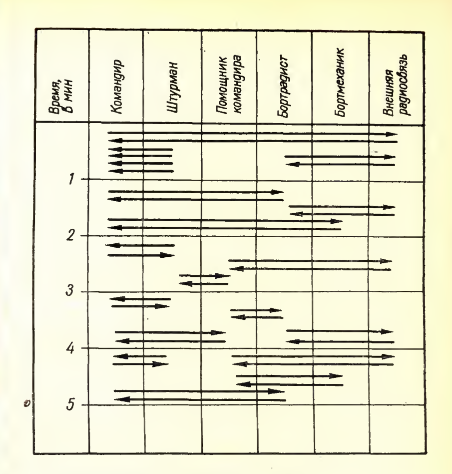



Рис. 9.5. Бланк для регистрации прохождения сообщений.

деятельности оператора со средствами индикации и управления на пультах. В подобных случаях на чертеже пульта стрелками отмечаются переходы оператора от использования одного средства к другому, причем сама стрелка указывает направление перехода, а цифра около нее — их частоту. Пример такой схемы представлен на рис. 9.3. С помощью подобной схемы можно выделить на пульте отдельные группы или блоки технических средств, между которыми имеется наибольшее число связей, и анализировать эти связи как внутри таких блоков, так и между блоками. Указанным методом может быть выявлена не только частота наличия отдельных связей, но и целые последовательности использования указанных средств при решении отдельных задач. В подобных случаях на рисунок пульта наносится соот-

ветствующая ломаная линия, соединяющая последовательно элементы пульта, к которым обращается оператор при решении данной задачи. Такие ломаные линии, характеризующие перцептивно-моторные последовательности действий при решении отдельных задач, могут использоваться для анализа деятельности оператора и, как было показано в гл. VIII, служить основой для оценки целесообразности компоновки пульта.

Рассматриваемый метод может быть применен и для анализа циркуляции информации между группой операторов в системе управления. На рис. 9.4 представлена схема, иллюстрирующая загрузку каналов связи в летном экипаже многомоторного самолета. Степень загрузки отдельных каналов связи отображается на схеме шириной полосы, соединяющей условные обозначения членов экипажа с цифровым указанием числа команд, поступающих по данному каналу в единицу времени. Картина информационных обменов может быть развернута и во времени. Так, на рис. 9.5 представлен бланк, фиксирующий вариант радиообмена между членами летного экипажа в масштабе времени. На бланке указаны направления и последовательности прохождения сообщений. На основе статистической обработки большого числа подобных бланков по разным этапам полета представляется возможным анализировать деятельность отдельных операторов на этих этапах.

## IX.2.2 ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА УРОВНЕ ОПЕРАЦИЙ

Методы, отнесенные к данной категории, основаны главным образом на описаниях последовательности переработки информации и вероятностно-статистических связей, существующих между элементами и показателями деятельности. Подобные описания предназначаются обычно для раскрытия операционной структуры отдельных этапов деятельности оператора или отдельных его задач. Для составления таких описаний рассматриваемый период деятельности или задача расчленяется на конечное число элементов — простых действий или операций, отражающих их психологическую природу, и выявляются функциональные связи, существующие между этими элементами.

В таких описаниях основное внимание уделяется не столько самим отдельным состояниям элементов системы, сколько переходам этих элементов из одного состояния в другое и закономерностям таких переходов. Следует отметить, что в подобных описаниях, наряду с действиями оператора, иногда бывают представлены и процессы переработки информации, протекающие в технических звеньях системы. Это делается обычно в тех случаях, когда от них зависят результаты действий оператора.

Здесь мы остановимся на четырех основных методах описания и анализа деятельности оператора на уровне операций:

— методе диаграмм оперативных этапов,
— методе органиграмм,
— методе граф-схем,
— методе алгоритмического описания.

**Метод диаграмм оперативных этапов** позволяет получать графическое описание последовательности преобразования информации и действий оператора при решении отдельных задач управления. При данном методе описания *способы преобразования информации и действий оператора* представляются на специальной диаграмме в форме соответствующих геометрических фигур, а соединяющие эти фигуры линии символизируют последовательность выполнения таких действий и преобразований.

На рис. 9.6 представлен простой пример такой диаграммы оперативных этапов, описывающий действия оператора радиолокационной станции по предотвращению столкновения судна, со-

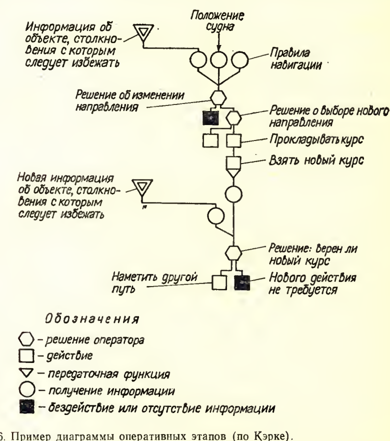



Рис. 9.6. Пример диаграммы оперативных этапов (по Кэрке).

ставленный автором этого метода М. Кэрке (М. Kurke)[3]. Этапы переработки информации легко понять по обозначениям и надписям на рисунке. Верхняя часть диаграммы символизирует ее «вход» — начало преобразования информации, а нижняя — «выход», т. е. завершение этих преобразований и решение самой задачи. Каждый вид преобразования информации представлен на диаграмме определенной геометрической формой: передача информации — треугольником, получение информации — кружком, принятие решения — шестиугольником, ручная операция — квадратом, бездействие — черным квадратом. Линии, соединяющие эти фигуры, указывают на наличие того или иного вида связи между отдельными этапами преобразования информации:

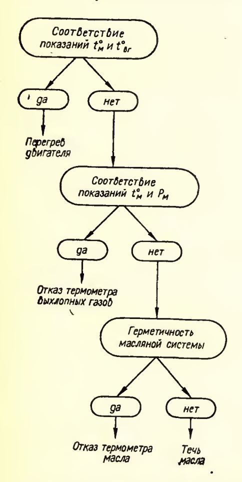



Рис. 9.7. Органиграмма, отображающая последовательность обнаружения отказа в системе турбовинтового двигателя.

[3] Более подробно этот метод изложен в книге М. Монмолена «Системы «человек и машина»» (М., 1973, с. 163—166).

расходящиеся от фигуры линии символизируют логическое «ИЛИ», а отдельные линии, связывающие фигуры, — логическое «И».

Обозначив отдельные фигуры диаграммы соответствующими буквами, можно, с помощью методов математической логики, представить данное графическое описание в виде логического ряда. В таком случае открываются возможности количественной оценки рассматриваемых на диаграмме этапов преобразования информации.

На диаграммах, подобных изображенной на рис. 9.6, может задаваться по вертикали масштаб времени и описываемый на ней процесс переработки информации представляться во времени. Такие диаграммы могут строиться и непосредственно на схеме, где представлена пространственная организация системы. При этом геометрические символы диаграммы наносятся прямо на рисунки конкретных блоков и стрелками связываются между собой. Подобным образом удается объединять схемы пространственного расположения технических элементов системы со схемами, отображающими процесс переработки информации при управлении данной системой.

**Метод органиграмм** позволяет наглядно, в графической форме представлять все логические условия, которые принимаются во внимание при решении задачи управления, и отображать их в той последовательности, в какой они используются в процессе переработки информации. Если в диаграмме оперативных этапов в основном подчеркиваются виды преобразования информации, то в органиграмме выделяются главным образом *логические возможности поиска решения* на разных его этапах. Здесь функции человека-оператора по разрешению задач управления описываются подобно тому, как задается программа действий человека при моделировании этих функций на ЭВМ. Поэтому в органиграмме оказываются представленными отдельные бинарные схемы, последовательно перебирая которые можно оценить все возможные пути решения задачи.

Примером довольно простой органиграммы может служить описание деятельности оператора по обнаружению несоответствия в показаниях о температурном режиме работы турбовинтового двигателя (рис. 9.7). Исходным событием здесь является обнаружение оператором того факта, что температура масла ($t_м°$) в двигателе превысила предельно допустимое значение. Если считать, что в данный момент на двигателе может возникнуть только один отказ, то его причина может быть выявлена путем последовательной проверки логических условий. Эти условия и порядок их проверки наглядно отображены на органиграмме. Вначале оператор сопоставляет показания температуры масла с показаниями температуры выхлопных газов ($t_{вг}°$). Если имеется соответствие между этими данными, то сразу ставится диагноз — перегрев двигателя. Если же это логическое условие

не выполняется, то производится проверка соответствия показаний температуры масла ($t_м°$) и давления масла ($p_м$). При условии их соответствия ставится диагноз — отказ термометра выхлопных газов. Если такого соответствия нет, то проверяется третье логическое условие — герметичность маслосистемы. В случае герметичности системы устанавливается отказ термометра масла, в противном случае диагностируется утечка масла.

Органиграммы позволяют учитывать и наглядно представлять влияние разных факторов и стечений обстоятельств на действие системы, выделять различные логические возможности и исходы создавшихся ситуаций — все это является их достоинством. В то же время нужно отметить, что данный вид описания, как и предшествующий (диаграммы оперативных этапов), не показывает, каким образом осуществляются отдельные действия и логические операции (в частности, в последнем примере — что является критерием соответствия и несоответствия показаний приборов).

**Метод граф-схем** служит для *краткого, схематичного отображения отдельных характеристик деятельности* человека в системе управления: ее операционно-логической структуры, вероятностно-статистических или временны́х связей, причинно-следственных факторов возникновения ошибок и т. п. Если определенные события, фиксируемые оператором, и отдельные его действия определить как вершины графа, а возможные связи между ними, переходы — как дуги этого графа, то полученная таким образом граф-схема сможет служить некоторым кратким описанием рассматриваемого этапа деятельности.

Примером граф-схем операционно-логической структуры этапа деятельности может служить следующее описание действий оператора с индикаторными приборами (рис. 9.8). Действия оператора и фиксируемые им события обозначаются на схеме большими латинскими буквами (A, B, C...), а проверяемые логические условия — малыми буквами (p, q,...). Значения отдельных букв для данной схемы представлены на рис. 9.8.

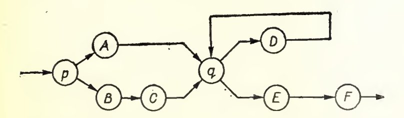



Рис. 9.8. Граф-схема, описывающая действия оператора при оценке показаний индикаторного прибора.
Обозначения: A — прибор включен, B — прибор выключен, C — действие включения прибора, Д — показания соответствуют программе, E — показания не соответствуют программе, F — управляющее воздействие, p — проверка включения, q — проверка соответствия.

Содержание рассматриваемой граф-схемы в словесной форме выражается следующим образом. Оператор проверяет включение прибора (p), который может быть включен (A) и выключен (B); в последнем случае оператор включает его (C). Затем он проверяет соответствие (q) показаний прибора заданной программе. Если такое соответствие имеется, то продолжается контроль за работой системы; если его нет, то оператор управляющим действием (F) приводит систему к требуемой норме.

Посредством граф-схемы может быть также дано описание рассмотренных выше диаграмм оперативных этапов или органиграмм. Однако при этом будет утрачена та наглядность в разделении видов переработки информации или в выборе логических условий, которая достигалась при использовании вышеуказанных методов отображения.

Использование граф-схем открывает широкие возможности для *количественного анализа* отображаемого этапа деятельности. Посредством их может быть представлена вероятностно-статистическая структура этого этапа. При этом в качестве вершин графа принимаются отдельные операции, а дугам придаются значения частоты использования отдельных связей. На основе подобных описаний представляется возможным оценивать некоторые задачи оператора с точки зрения присущих им переходов и их вероятностной структуры. Такие граф-схемы можно выражать через соответствующие матрицы и, используя специальные преобразования, получать формулы, определяющие особенности рассматриваемого этапа деятельности или описываемой им задачи[4].

**Метод алгоритмического описания** операционно-логической структуры деятельности отличается своей направленностью на учет и анализ именно ее *психологических особенностей.* В его основу положен принцип алгоритмического описания процессов управления, разработанный для технических систем А. А. Ляпуновым и Г. А. Шестопалом[5]. Этот метод был преобразован Г. М. Зараковским для описания и анализа психофизиологических особенностей деятельности человека-оператора[6]. Поскольку указанный метод получил наиболее широкое практическое применение, рассмотрим его более подробно.

Под алгоритмом работы любой системы управления, в том числе и биологической, здесь понимается *совокупность элементарных операций переработки информации и логических условий, определяющих порядок следования этих операций, которая*

---

[4] Способ использования граф-схем для описания вероятностной структуры связей в деятельности оператора, предложенный Г. В. Суходольским, приведен в книге «Методологические исследования по инженерной психологии и психологии труда» (Ч. 1. Л., 1974, с. 59—70).

[5] Ляпунов А. А., Шестопал Г. А. Об алгоритмичном процессе управления. — В кн.: Математическое просвещение, вып. 2. М., 1957, с. 81—95.

[6] Зараковский Г. М. Психофизиологический анализ трудовой деятельности. М., 1966, 150 с.

*решает поставленную задачу.* Составляющими таких описаний являются соответствующие элементарные единицы деятельности, в качестве которых в данном случае используются оперативные единицы информации и элементарные действия.

*Оперативная единица информации* (ОЕИ) определяется как сообщение (образ, понятие, суждение, команда и т. п.), которое протекает целостно и дифференцируется человеком в процессе данной деятельности хотя бы по одному существенному для него признаку. Под *элементарным действием* (ЭД) понимается преобразование информации, энергии (акт восприятия, мыслительная операция, извлечение данных из памяти, моторное действие и т. п.), которое ведет к формированию некоторой ОЕИ.

Одним из наиболее сложных вопросов данного метода описания является установление меры дискретности, т. е. уровня детализации ОЕИ и ЭД, на котором следует осуществлять данный анализ. Эти данные определяются на основе рассмотрения особенностей информационной модели и решаемой задачи, на основе оценки свойственных оператору способов переработки информации и т. п. Таким образом, для определения ОЕИ и ЭД приходится анализировать и оценивать большую совокупность вопросов, начиная от возникшей задачи и связанной с ней концептуальной модели и вплоть до реализации моторных действий и контроля за ними. Трудности определения элементарных составляющих деятельности часто заставляют осуществлять алгоритмическое описание на уровне единиц, которые могут непосредственно фиксироваться в процессе работы (например, отсчет показаний индикатора, поворот рукоятки и т. п.), или явно выраженных логических условий, которые, очевидно, присутствуют при выборе способа действия.

В таком случае алгоритмическое описание может осуществляться уже на уровне типовых действий логических условий. Вместо элементарных действий (ЭД) здесь можно использовать *типовые действия* (ТД), а вместо оперативных единиц информации (ОЕИ) — *логические условия* (ЛУ). При таком подходе под логическим условием понимается сигнал (воспринимаемый извне или актуализируемый в представлении), определяющий выбор того или иного способа действия (операции).

В методе алгоритмического описания деятельность оператора отображается посредством символических обозначений. Большими латинскими буквами (A, B, C...) обозначаются отдельные типовые действия (ТД), а малыми буквами (p, q, ...) — логические условия (ЛУ), определяющие выбор того или иного действия. Среди типовых действий оператора могут быть выделены *афферентные* акты (считывание показаний приборов, получение команд и т. п.), которые обозначаются индексом $\alpha$, и *эфферентные* действия (нажатие кнопок, отдача команд и т. п.), обозначаемые индексом $\varepsilon$. Символам выполнения *логических условий* на схеме придается индекс 1.

Алгоритмическое описание читается как обычный вербальный текст — слева направо. Большие буквы воспринимаются последовательно одна за другой. Если в схеме появляется малая буква, определяющая проверяемое логическое условие, то после этой буквы ставится «выходная» стрелка с номером, указывающим ее направление (например $\overset{1}{\uparrow}$), и здесь возможны два случая:

— если условие выполняется, то, не обращая внимания на стрелку, следует переходить к последующему элементу описания;

— при невыполнении условия нужно следовать в направлении, которое указывает «выходная» стрелка, и переходить к тому элементу действия, перед которым стоит «входная» стрелка с тем же номером. Приведем пример на следующем простейшем алгоритме:

$$\overset{1}{\downarrow} Ap \overset{1}{\uparrow} B.$$

Если логическое условие выполняется ($p=1$), то порядок действия элементов будет: AB. В противном случае ($p=0$) после срабатывания первого члена следуем по стрелке ($\overset{1}{\uparrow}$) и возвращаемся ($\overset{1}{\downarrow}$) снова к первому члену. В таком случае порядок действия элементов будет AA.

Для записи непрерывных процессов, длительностью которых нельзя пренебречь (например, слежения), вводится обозначение — скобка снизу ($\underset{\smile}{A}^{(\alpha)}$). Кроме того, предусматривается и ряд других символов для учета различных особенностей действий оператора в нормальных и аварийных ситуациях, на которых мы не будем останавливаться.

### IX.2.3. ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПИСАНИЯ И АНАЛИЗА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА

Применим данный метод для описания и анализа деятельности летчика по выдерживанию горизонтального положения самолета относительно его продольной оси.

Введем следующие обозначения элементов алгоритма (табл. 11).

Запишем логическую схему алгоритма:

$$\overset{1,5}{\downarrow} \underset{\underset{1}{\smile}}{R_0^{(\varepsilon)}} \underset{\underset{1}{\smile}}{A^{(\alpha)}} d \overset{1}{\uparrow} d_l \overset{2}{\uparrow} R_p^{(\varepsilon)} \overset{4,6}{\downarrow} \underset{\underset{2}{\smile}}{R_u^{(\varepsilon)}} \underset{\underset{2}{\smile}}{A^{(\alpha)}} d' \overset{3}{\uparrow} \omega \overset{4}{\uparrow}\overset{3}{\downarrow} R_w^{(\varepsilon)} \omega \overset{5}{\uparrow}\overset{2}{\downarrow} R_l^{(\varepsilon)} \omega \overset{6}{\uparrow}. \qquad (9.1)$$

В зависимости от исходов логических условий этот алгоритм практически может быть реализован в виде следующих пяти вариантов.

Таблица 11

| Описание членов алгоритма | Символы |
|---|---|
| Удерживание рукоятки управления в нейтральном положении | $R_0^{(\varepsilon)}$ |
| Поворот рукоятки влево | $R_l^{(\varepsilon)}$ |
| Поворот рукоятки вправо | $R_p^{(\varepsilon)}$ |
| Удерживание рукоятки, отклоненной вправо или влево | $R_u^{(\varepsilon)}$ |
| Поворот рукоятки в нейтральное положение | $R_w^{(\varepsilon)}$ |
| Считывание углов крена с авиагоризонта | $A^{(\alpha)}$ |
| Появление крена на указателе | $d$ |
| Появление левого крена | $d_l$ |
| Отклонение по крену осталось | $d'$ |
| Всегда ложное логическое условие | $\omega$ |

*I вариант:*

$$\overset{1}{\downarrow} \underset{1}{\underset{\smile}{R_0^{(\varepsilon)}}}\,\underset{1}{\underset{\smile}{A^{(\alpha)}}}\,(d=0)\,\overset{1}{\uparrow}. \tag{9.2}$$

Его алгоритм читается так. Летчик удерживает рукоятку управления в нейтральном положении $\left(\underset{1}{\underset{\smile}{R_0^{(\varepsilon)}}}\right)$ и одновременно следит за показаниями авиагоризонта $\left(\underset{1}{\underset{\smile}{A^{(\alpha)}}}\right)$. Поскольку крена нет $(d=0)$, то, согласно стрелке $\left(\overset{1}{\uparrow}\right)$, возвращаемся к началу алгоритма — те же действия повторяются, пока сохраняется проверяемое логическое условие $(d=0)$.

*2 вариант:*

$$\overset{5}{\downarrow} \underset{1}{\underset{\smile}{R_0^{(\varepsilon)}}}\,\underset{1}{\underset{\smile}{A^{(\alpha)}}}\,(d=1)\,(d_1=0)\,\overset{2}{\uparrow}\overset{2}{\downarrow} R_l^{(\varepsilon)}\,\overset{6}{\uparrow}\overset{6}{\downarrow} \underset{2}{\underset{\smile}{R_u^{(\varepsilon)}}}\,\underset{2}{\underset{\smile}{A^{(\alpha)}}}\,(d'=0)\,\overset{3}{\uparrow}\overset{3}{\downarrow} R_w^{(\varepsilon)}\,\omega\,\overset{5}{\uparrow}. \tag{9.3}$$

Этот более громоздкий алгоритм читается так. Летчик удерживает рукоятку в нейтральном положении $\left(\underset{1}{\underset{\smile}{R_0^{(\varepsilon)}}}\right)$, наблюдая за авиагоризонтом $\left(\underset{1}{\underset{\smile}{A^{(\alpha)}}}\right)$. Обнаружив накренение самолета

$(d=1)$ — отклонение «силуэтика» на шкале авиагоризонта вправо $(d_l=0)$, он должен повернуть рукоятку влево $(R_l^{(\varepsilon)})$ и затем удерживать ее в этом положении $(\underset{\underset{2}{\smile}}{R_u^{(\varepsilon)}})$, одновременно наблюдая за авиагоризонтом $(\underset{\underset{2}{\smile}}{A^{(\alpha)}})$ и контролируя, как будет устраняться возникшее отклонение «силуэтика». Если это отклонение устранилось $(d'=0)$, то рукоятку следует возвратить в исходное положение $(R_w^{(\varepsilon)})$. Стрелка $(\overset{5}{\uparrow})$ отправляет к началу алгоритма 1 варианта, указывая, что далее поддерживается горизонтальный полет.

*3 вариант:*

Если же после поворота рукоятки влево $(R_l^{(\varepsilon)})$ и выдерживания ее в этом положении $(\underset{\underset{2}{\smile}}{R_u^{(\varepsilon)}})$ при одновременном наблюдении авиагоризонта $(\underset{\underset{2}{\smile}}{A^{(\alpha)}})$ будет замечено, что крен все же не устранился $(d'=1)$, то такая ситуация будет описываться следующим алгоритмом:

$$\overset{5}{\downarrow}\underset{\underset{1}{\smile}}{R_0^{(\varepsilon)}}\underset{\underset{1}{\smile}}{A^{(\alpha)}}(d=1)\,(d_1=0)\,\overset{2}{\uparrow}\overset{2}{\downarrow}R_l^{(\varepsilon)}\overset{4,6}{\uparrow}\overset{4,6}{\downarrow}\underset{\underset{2}{\smile}}{R_u^{(\varepsilon)}}\underset{\underset{2}{\smile}}{A^{(\alpha)}}(d'=1)\;\omega\overset{4}{\uparrow}. \qquad (9.4)$$

При невыполнении указанного логического условия $(d'=1)$, следуя по стрелке $(\overset{4}{\uparrow})$, нужно вернуться на несколько шагов назад к члену $\underset{\underset{2}{\smile}}{R_u^{(\varepsilon)}}$, т. е. продолжать удерживать рукоятку в отклоненном положении, повторяя это действие $(\omega)$, пока сохраняется условие $(d'=1)$.

*4 вариант:*

$$\overset{5}{\downarrow}\underset{\underset{1}{\smile}}{R_0^{(\varepsilon)}}\underset{\underset{1}{\smile}}{A^{(\varepsilon)}}(d=1)\,(d_1=1)\;R_p^{(\varepsilon)}\overset{4}{\downarrow}\underset{\underset{2}{\smile}}{R_u^{(\varepsilon)}}\underset{\underset{2}{\smile}}{A^{(\alpha)}}(d'=0)\;\overset{3}{\uparrow}\overset{3}{\downarrow}R_w^{(\varepsilon)}\omega\overset{5}{\uparrow}. \qquad (9.5)$$

Этот вариант отличается от 2 варианта только тем, что в данном случае появился не правый крен $(d=1)$, а левый $(d_l=1)$ и летчику следует отклонить рукоятку вправо $(R_p^{(\varepsilon)})$.

*5 вариант:*

$$\overset{5}{\downarrow}\underset{\underset{1}{\smile}}{R_0^{(\varepsilon)}}\underset{\underset{1}{\smile}}{A^{(\varepsilon)}}(d=1)\,(d_1=1)\;R_p^{(\varepsilon)}\overset{4}{\downarrow}\underset{\underset{2}{\smile}}{R_u^{(\varepsilon)}}\underset{\underset{2}{\smile}}{A^{(\alpha)}}(d'=1)\;\omega\overset{4}{\uparrow}. \qquad (9.6)$$

Он подобен 3 варианту, только составлен для случая левого крена.

Все пять рассмотренных вариантов объединены в общей записи алгоритма (9.1). Полное словесное описание этого алгоритма получилось бы очень громоздким. Поэтому дадим только его начало. Летчик удерживает рукоятку в нейтральном положении $\big(\underset{1}{\underset{\smile}{R_0^{(\varepsilon)}}}\big)$, одновременно контролируя авиагоризонт $\big(\underset{1}{\underset{\smile}{A^{(\alpha)}}}\big)$. Если отклонений нет, по стрелке $(\overset{1}{\uparrow})$ возвращаемся к началу алгоритма, т. е. названные действия повторяются. Если отклонение имеется $(d=1)$ и является левым $(d_1=1)$, летчик должен отклонить рукоятку вправо $\big(R_p^{(\varepsilon)}\big)$. Если же отклонение правое, т. е. при $(d=1)$ будет $(d_1=0)$, то, следуя по стрелке $(\overset{2}{\uparrow})$, приходим к члену $R_1^{(\varepsilon)}$, указывающему, что рукоятку нужно отклонить влево, затем по стрелке $(\overset{6}{\uparrow})$ к члену $\underset{2}{\underset{\smile}{R_u^{(\varepsilon)}}}$, показывающему, что рукоятку следует удерживать в отклоненном положении и т. д.

В описанном примере было разобрано алгоритмическое описание одноканальной схемы переработки информации. Однако таким путем возможно описать и более сложные многоканальные системы. Для этого применяется многострочная запись алгоритма, описывающего одновременно действие ряда взаимосвязанных между собой каналов. Так, например, в одной строке записываются преобразования информации, связанные с работой рук, в другой — с работой ног и т. д.

Существенным достоинством данного метода алгоритмического описания деятельности оператора является его направленность на *количественную оценку* некоторых *психологических особенностей* отображаемой *деятельности*. Г. М. Зараковским был предложен ряд специальных показателей, для установления которых по полученному описанию выведены определенные формулы.

Как уже было отмечено, все члены алгоритма, с точки зрения их качества, можно разделить на три группы: афферентные элементы $(N^{(\alpha)})$, эфферентные элементы $(N^{(\varepsilon)})$ и элементы, учитывающие логические условия различных видов $(N^{(l)})$. Таким образом, *суммарное число членов алгоритма* (N) получается:

$$N=\sum_{i=1}^{i}N_i^{(\alpha)}+\sum_{j=1}^{j}N_j^{(\varepsilon)}+\sum_{k=1}^{k}N_k^{(l)}, \qquad (9.7)$$

где i, j, k — общее число элементов соответственно каждого из типов.

*Относительное число элементов* каждого типа (α, ε, l) находится соответственно по формулам:

$$N_\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{i} N_i^{(\alpha)}}{N}; \quad N_e = \frac{\sum_{j=1}^{j} N_j^{(e)}}{N}; \quad N_l = \frac{\sum_{k=1}^{k} N_k^{(l)}}{N}. \tag{9.8}$$

При многовариантных операциях в полном алгоритме отражаются все возможные варианты его реализации. *Количество* различных *вариантов* ($N_w$) *реализаций алгоритма* ограничено числом:

$$N_w = 2^{\sum_{k=1}^{k} N_k^{(l)}}. \tag{9.9}$$

*Средняя энтропия* ($\bar{H}_w$) *вариантов реализации алгоритма* составляет:

$$\bar{H}_w = -\sum_{w=1}^{w} P_w \log_2 P_w, \tag{9.10}$$

где $P_w$ — вероятность варианта w.

Аналогично по вероятности применения различного типа элементов оценивается и их средняя энтропия: так, например, *средняя энтропия* ($\bar{H}_\alpha$) *афферентных элементов* будет:

$$\bar{H}_\alpha = \sum_{i(\alpha)=1}^{i(\alpha)} P_{i(\alpha)} \log_2 P_{i(\alpha)}, \tag{9.11}$$

где $P_{i(\alpha)}$ — вероятность элемента вида i.

Подобным методом возможно найти и максимальную энтропию данного (например, афферентного) элемента ($\bar{H}_\alpha^{max}$) и определить показатель неравномерности его распределения ($\Delta\alpha$):

$$\Delta\alpha = \bar{H}_\alpha^{max} - \bar{H}_\alpha. \tag{9.12}$$

Неравномерность энтропии, согласно терминологии теории информации, фактически является показателем *избыточности информации.*

Рассматриваемый метод позволяет анализировать уровень интенсивности (напряженности) деятельности оператора в процессе реализации рассматриваемого алгоритма.

Так, *операционную напряженность* можно оценить по скорости срабатывания последовательности членов алгоритма:

$$V = \frac{N}{\tau}, \tag{9.13}$$

где V — суммарная динамическая интенсивность работы,
τ — среднее время реализации алгоритма.

Помимо того, можно отдельно рассматривать уровни *афферентно-логической операционной напряженности* (при хронометраже трудно отделить афферентные элементы от логических ус-

ловий, поэтому они рассматриваются совместно) и *эфферентной напряженности:*

$$V_{\alpha,\mathrm{l}} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{I} N_i^{(\alpha)} + \sum\limits_{k=1}^{k} N_k^{(l)}}{\tau_{\alpha,\mathrm{l}}} \quad \text{и} \quad V_\varepsilon = \frac{\sum\limits_{j=1}^{J} N_j^{(\varepsilon)}}{\tau_\varepsilon}, \tag{9.14}$$

где $V_{\alpha,\mathrm{l}}$ — афферентно-логическая операционная напряженность,
$V_\varepsilon$ — эфферентная операционная напряженность,
$\tau_{\alpha,\mathrm{l}}$ — время, затраченное на выполнение афферентных элементов алгоритма и принятие решений,
$\tau_\varepsilon$ — время выполнения эфферентных элементов.

Применяется также характеристика *серийной скорости* ($S_s$) *переработки* средней *информации,* которая находится по формуле:

$$S_s = \frac{\bar{H}_\alpha + \bar{H}_\varepsilon + \bar{H}_\mathrm{l}}{\tau}, \tag{9.15}$$

где $\bar{H}_\alpha$, $\bar{H}_\varepsilon$, $\bar{H}_\mathrm{l}$ — средние значения энтропии соответственно афферентных, эфферентных элементов и логических условий, которые находятся по формуле (9.11) и ей подобным.

На основе данного алгоритмического анализа оценивается *степень стереотипности* процесса управления, которую можно рассматривать как однозначно детерминированную последовательность реакций на определенный раздражитель. При алгоритмическом описании такой этап деятельности представляется в форме ряда последовательных элементов, между которыми нет членов, определяющих проверяемые логические условия. В таких случаях выполнение предшествующего логического условия служит сигналом для срабатывания указанной последовательности элементов, определяющих данный стереотип. Так, в рассматриваемом описании (9.1) группа членов $R_p^{(\varepsilon)} R^{(\varepsilon)}_{\underset{2}{\smile}\mathrm{u}} A^{(\alpha)}_{\underset{2}{\smile}}$ определяет стереотипность действий. На сигнал о левом крене ($d_\mathrm{l}=1$) следует обязательный ряд операций: отклонение руля вправо $\left(R_p^{(\varepsilon)}\right)$, удерживание его в отклоненном положении $\left(R^{(\varepsilon)}_{\underset{2}{\smile}\mathrm{u}}\right)$ с одновременным контролем показаний авиагоризонта $\left(A^{(\alpha)}_{\underset{2}{\smile}}\right)$.

Таким образом, по наличию в алгоритме подобных непрерывных последовательностей, а также по длительности их рядов возможно оценивать степень стереотипности операций управления.

На основе указанных предпосылок показатель стереотипности (Z) равен:

$$Z = \sum_{n=1}^{n} P_n \cdot X_n^{(0)}, \qquad (9.16)$$

где $X^{(0)}_n$ — число последовательных элементов в группе по 1, 2, ..., n членов,

$P_n$ — вероятность таких групп.

Противоположной характеристикой динамического стереотипа является показатель *динамичности,* указывающий на возможности перестройки системы действий в случае изменения системы раздражителей. Такая перестройка осуществляется тем легче, чем менее выражена стереотипность. Поэтому характеристика, обратная стереотипности, может быть использована для оценки динамического компонента деятельности оператора.

Количество проверяемых логических условий может служить показателем *степени логической сложности* деятельности. Чем больше в алгоритме групп, составленных непрерывной последовательностью логических условий, и чем длиннее эти последовательности, тем, очевидно, выше логическая сложность данного алгоритма. В нашем примере был несложный алгоритм, который содержал всего одну такую группу, состоящую лишь из двух членов — появится ли на указателе сообщение о крене (d) и будет ли этот крен левым или правым ($d_l$)?

В общем случае показатель логической сложности (L) определяется:

$$L = \sum_{m=1}^{m} P_m X_m^{(l)}, \qquad (9.17)$$

где $X^{(l)}_m$ — число проверяемых логических условий в группе из 1, 2, ..., m таких условий;

$P_m$ — вероятность таких групп.

*Эмоциональная напряженность,* связанная с выполнением определенных шагов алгоритма, из рассматриваемого описания непосредственно не обнаруживается. Поэтому ее приходится оценивать на основе наблюдений и бесед с операторами и количественно выражать эти оценки в баллах: минимальная напряженность — 1 балл, максимальная — 5 баллов. Средний показатель эмоциональной напряженности (ε) находится из соотношения:

$$\mathcal{E} = \sum_{r=1}^{r} P_r X_r, \qquad (9.18)$$

где $X_r$ — число баллов (1, 2, ... r), которыми был оценен данный член алгоритма;

$P_r$ — вероятность данной оценки.

Таким образом, изложенный алгоритмический метод анализа деятельности оператора позволяет получать несколько различных оценок степени сложности этой деятельности. При сопоставлении различных видов операторской деятельности часто необходим

единый обобщенный показатель сложности работы оператора в данной системе. В качестве такого показателя предлагается иногда использовать характеристику *сложности* ($S_0$) обслуживания:

$$S_0 = \frac{V \cdot S_в \cdot L}{Z}, \tag{9.19}$$

которая находится по указанным выше частным характеристикам (9.13), (9.15), (9.16), (9.17).

Данный метод алгоритмического описания и анализа может быть использован для изучения отдельных этапов деятельности оператора как в уже действующей, так и в проектируемой системе. Для применения его при проектировании требуется разработка еще некоторых промежуточных методов, позволяющих включать рассматриваемый метод в общую схему проектирования. Широкое практическое приложение он находит при оценке действующих систем. Особенно эффективным указанный метод оказывается для сопоставления инженерно-психологических качеств различных систем на основе показателей и результатов деятельности операторов различного профиля.

* * *

Закончив рассмотрение методов анализа и отображения деятельности оператора, переходим к заключительной главе данного курса — изучению принципов и методов учета психологических факторов при проектировании систем «человек—машина».

# Глава X. Проектирование систем «человек—машина»

## X.1. СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

В наше время проектирование сложных систем, в том числе и человеко-машинных, осуществляется главным образом методами системотехники — одной из областей общей теории систем. Поэтому необходимо хотя бы кратко остановиться на понятиях и методах этой области знания — на них будет опираться все дальнейшее изложение данной главы.

При проектировании современных сложных и дорогостоящих систем приходится заботиться не только о том, чтобы они надежно и качественно выполняли возложенные на них функции, но учитывать также затраты сил и средств на их изготовление,

на обучение обслуживающего их персонала, соотнося эти показатели с тем эффектом, который будет давать применение таких систем, с ожидаемым на них спросом. Иначе говоря, при разработке новых систем необходимо принимать во внимание большое число весьма разнородных факторов, вытекающих из сферы проектирования систем, их изготовления, реализации и применения.

Помимо того, нужно, чтобы создаваемые системы были пригодны для быстрого и гибкого приспособления к выполнению новых задач, возникающих в связи с изменением внешних и внутренних условий их функционирования. Следовательно, при разработке и создании сложных систем приходится ориентироваться не только на достижение уже имеющихся целей, разрешение существующих задач, но и на прогнозирование новых условий и вариантов их действия, перспектив их дальнейшего использования. При этом приходится учитывать и тот факт, что ошибки, допущенные при проектировании подобных сложных систем, — неучет отдельных целей, факторов, особенностей работы — могут обходиться очень дорого и приводить к большим потерям материального и социального порядка.

Все эти обстоятельства коренным образом изменили направление традиционного инженерного мышления: вместо дифференциации и тонкой специализации, утвердившихся в проектировании, возникли противоположные задачи — интеграции и синтеза сложных систем, — задачи, в которых требуется увязывать многие цели, согласовывать большое число факторов технического, экономического, социального порядка, учитывать развитие системы и ее перспективы. Для решения таких задач пришлось привлечь к процессу проектирования специальные методы математики и кибернетики. Проектирование сложных систем, таким образом, превратилось в *многоступенчатую задачу*, включающую в себя ряд крупных проблем:

1) научное исследование целей, возможностей, условий, перспектив и прочих факторов, определяющих выбор, создание и применение данной системы;

2) выбор, на основе этих данных, принципа и структуры системы, удовлетворяющих предъявляемым к ней требованиям;

3) проектно-конструкторские разработки системы;
4) изготовление системы;
5) ее практическое применение (эксплуатация).

Среди всех этих проблем именно круг вопросов, включенных во второй пункт этого перечня — выбор принципа системы, связывающего теорию с технологией, и является основным объектом системотехнических исследований. Один из ведущих специалистов в этой области А. Холл (A. Hall) определяет цель системотехники следующим образом: «сократить разрывы во времени между научными открытиями и их приложением и между возник-

новением человеческих потребностей и производством новых систем, призванных удовлетворить эти потребности»[1].

Рассмотрим основные понятия, которыми оперируют в системотехнике. Наиболее фундаментальным из них является система — множество предметов вместе со связями между этими предметами и их признаками. В качестве *предметов* рассматриваются компоненты или части системы, а в качестве *признаков* — свойства этих предметов (компонентов). *Связи* объединяют предметы системы в нечто целое. И именно тот факт, что в системе существует много видов связей (причинных, логических, случайных и т. д.), делает полезным рассмотрение понятия системы.

Другой важной категорией системотехники является понятие окружения системы — множества предметов вне системы. К окружению относятся только те предметы:

— изменение признаков которых влияет на систему,

— признаки которых изменяются вследствие поведения системы.

Следует отметить, что под окружением здесь понимаются не только материальные предметы и явления, но и социальные, экономические, политические и прочие факторы. Таким образом, и люди, управляющие технической системой, могут быть отнесены к ее окружению. При этом граница между системой и окружением является чисто условной, поскольку при иной постановке задачи множество самой системы может быть расширено и те элементы, которые ранее относились к окружению, становятся ее компонентами. В подобном случае и человек может рассматриваться как компонент системы. Поэтому множество системы и множество ее окружения должны определяться в каждом конкретном случае, в зависимости от решаемой задачи.

Всякая система допускает подразделение на подсистемы. Так, в системе «человек—машина» можно выделить две подсистемы: «человек» и «машина». В таком случае подсистема «машина» может рассматриваться как окружение подсистемы «человек», или наоборот. И вся система «человек—машина» может расцениваться как подсистема более крупной системы или как ее окружение.

Основную задачу системотехнического проектирования можно определить как нахождение способа оптимального согласования *входов* и *выходов* системы. Для этого требуется выявить все входы и выходы рассматриваемой системы и, используя известные преобразования и передаточные функции, установить соответствующие связи между множеством ее входов и множеством выходов. Если такую задачу не удается решить посредством одного преобразования, то система делится на соответствующие

[1] Холл А. Д. Опыт методологии для системотехники. М., 1975, с. 21. В дальнейшем изложении будет использоваться терминология и определения этого автора.

подсистемы и предпринимаются попытки ее решения посредством ряда преобразований (ряда передаточных функций) в нескольких подсистемах.

Входы и выходы системы, а также ее подсистем группируются по признакам — несут ли они *информацию, энергию, материалы.* Отметим, что при проектировании системы важно предусматривать совместимость между выходом одной подсистемы и связанным с ним входом другой не только по характеру сигнала, но и по прочим показателям (форме, диапазону и т. п.).

Системы характеризуются и степенью их целостности *(когерентности).* Система является когерентной, если каждая ее часть оказывается связанной с другой ее частью таким образом, что изменение в одной части вызывает изменения во всех остальных ее частях и во всей системе. В этом смысле другой крайностью являются системы с независимым поведением их частей, где изменения в каждой части происходят независимо, а общее изменение в системе равно физической сумме изменений в отдельных ее частях.

Системы оцениваются также по степени *иерархической упорядоченности,* т. е. с точки зрения подчиненности внутри их одних подсистем другим, причем взаимной подчиненности не только самих подсистем, но и их планов и целей. Можно расценивать системы и по степени их *централизованности,* т. е. по наличию в них ведущей подсистемы, играющей доминирующую роль среди остальных. Определение ведущей подсистемы осуществляется исходя из конкретных условий решаемой задачи.

В приведенном кратком обзоре понятий системотехники были выделены характеристики, которые имеют только прямое отношение к рассматриваемому в настоящей главе вопросу проектирования систем «человек—машина». Исходя из этих понятий уже можно заключить, что подобные системы отличаются высокой целостностью, иерархической упорядоченностью и централизованностью.

## X.2. ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМ «ЧЕЛОВЕК—МАШИНА»

### X.2.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

При анализе проблемы создания современной системы «человек—машина» иногда выделяют в виде отдельных аспектов следующие задачи [2]:

— техническое проектирование,

— эргономическое проектирование (здесь порой отдельно рассматривается инженерно-психологическое проектирование),

— художественное проектирование.

[2] Смирнов Б. А., Самошкина Н. М. «Человек—труд—техника». Харьков, 1975, с. 86—97; Инженерная психология. Киев, 1976, с. 271—300.

С точки зрения изложенного выше системотехнического подхода такое разделение проблемы проектирования системы следует понимать как чисто условное, поскольку эти задачи тесно связаны между собой. Если в теоретическом плане, при соответствующих допущениях, в какой-то мере еще возможно рассматривать эти аспекты раздельно, то в практическом приложении приходится вести речь о *едином процессе системотехнического проектирования.*

Такое проектирование, как было показано, уже по своей сущности основано на учете различных человеческих потребностей. Даже при проектировании «чисто» технической системы, действующей автоматически, т. е. довольно независимо от человека, приходится учитывать, в какой мере она будет удовлетворять человека как средство его труда, по стоимости и многим другим критериям. При создании же систем «человек—машина», в которых человек выступает как компонент системы (обычно ведущий), объем и широта требований, вытекающих из потребностей человека, существенно возрастают. Учесть всю эту сложную совокупность требований человека, управляющего системой, в сочетании с требованиями технического, экономического и прочих порядков, возможно в наше время только при посредстве методов системотехники.

Системотехнические методы основаны на использовании количественных описаний действия отдельных элементов системы и их взаимосвязей. Однако поскольку подобные описания для действий человека часто отсутствуют или являются очень приближенными, то это обстоятельство ведет к тому, что человека начинают рассматривать не как компонент системы (требующий таких же точных описаний, какие имеют технические компоненты), а как элемент окружения (здесь можно ограничиться лишь общими данными). Это свидетельствует о трудностях приложения системотехнического метода для проектирования системы «человек—машина», причем о трудностях, вытекающих не из самого метода, а из недостатка знаний о закономерностях деятельности человека в системе управления.

Однако, независимо от происхождения указанных трудностей, приходится все же констатировать ограниченность возможностей приложения в настоящее время обычных методов системотехнического проектирования к рассматриваемой категории систем. Поэтому предпринимаются попытки создания специальных методик, позволяющих использовать при проектировании систем «человек—машина», наряду с количественными критериями, также и качественные описания деятельности человека в таких системах управления.

Так сложился подход к проектированию систем «человек—машина», основанный на *распределении функций* между компонентами системы. В противоположность данному возник и другой

подход, отрицающий применимость системотехники к проектированию человеко-машинных систем; исходным принципом его является *проектирование деятельности* человека в системе управления.

## X.2.2. ПРИНЦИП РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИЙ (КОМПОНЕНТНЫЙ ПОДХОД)

Как уже отмечалось в начале данного курса, одной из наиболее существенных причин, породивших инженерную психологию, было появление машин, способных выполнять некоторые интеллектуальные человеческие функции (мышления, управления, организации). Это обстоятельство привело к тому, что в некоторых задачах возможности человека и машины в современной системе стали соизмеримы, в связи с чем возникла проблема распределения функций между человеком и машиной. Следует отметить, что в этой проблеме тесно переплелось большое число существенных человеческих и машинных факторов, которые необходимо учитывать при проектировании систем «человек—машина». Вероятно, поэтому данная проблема оказалась той базой, на основе которой стали разрабатываться методы системотехнического проектирования подобных систем.

Первым выделил проблему распределения функций инженерный психолог К. Крейк[3] (1945). Более четко эту проблему сформулировал П. Фитс (1951), предложивший конкретный перечень из 11 пунктов[4], в котором давалось сравнение основных преимуществ человека и машины с точки зрения их использования в системе управления (по скорости, мощности, стабильности, чувствительности, памяти, способности мыслить и др.). Впоследствии этот перечень неоднократно дополнялся. И хотя в подобных перечнях указывались довольно очевидные факты, они все же представляли собой некоторую единую методологически обоснованную систему, которая позволяла осуществлять выбор и принимать проектные решения с учетом целого ряда существенных факторов.

В последующие годы сформировался ряд вполне определенных критериев распределения функций между человеком и машиной, которые используются при проектировании сложных систем и оправдали себя на практике. Эти критерии были достаточно подробно изложены в гл. I. Там же были выделены существенные различия между человеком и машиной как компонентами системы, показывающие, что проблема распределения функций должна рассматриваться и как техническая, и как пси-

[3] Крейк К. Человек-оператор в системе управления. — В кн.: Инженерно-психологическое проектирование. М., 1970, с. 22—45.

[4] Перечень П. Фитса приведен в том же сборнике, с. 183—184.

хологическая. Следует также отметить, что эта проблема существует только в сфере информациоииых процессов (где показатели человека и машины соизмеримы). Распределеиие же фуикций с точки зреиия энергетических затрат решается сравиительио просто: за человеком оставляют такие двигательиые задачи, которые ие перегружают его и в то же время создают иеобходимый уровеиь активиости и подвижиости.

Распределеиие фуикций между человеком и машииой осуществляется иа раиних стадиях проектироваиия, когда отсутствует большииство даииых о работе системы и о деятельности в ией человека. К тому же необходимые для этого характеристики, в свою очередь, зависят от избраииого варианта распределеиий фуикций. Поэтому распределение функций оказывается *многошаговым процессом,* включающим в себя этап предварительиого распределеиия и ряд последовательиых коррекций этого вариаита, осуществляемых уже по ходу дальиейшего проектироваиия.

В иастоящее время сложилась уже иекоторая методика предварительиого распределеиия фуикций между человеком и машииой, основаниая иа качествениых критериях[5]. Рассмотрим ее последовательиость.

1. *Определение назначения системы,* формирование ее целей и перечня разрешаемых ею задач. Проектируемую систему представляют в виде преобразователя входиой информации, поступающей в систему, в соответствующие выходиые сигиалы, отвечающие ее иазиачеиию и требованиям задачи. На этом этапе рассматриваются входиые сигиалы будущей системы и принципы их преобразоваиия в требуемые выходные сигиалы. Оцеиваются вероятиости появлеиия в системе различиых задач и способов преобразоваиия ииформации.

2. Непосредствеииое распределеиие фуикций иачииается с *отбора отдельных функций для машины,* в осиову которого берется следующий принцип: те задачи, которые в иастоящее время выполияются машииой с требуемым качеством при приемлемой стоимости и габаритах, сохранить и в проектируемой системе за машииой.

3. Все *остальные задачи,* которые предстоит выполнять системе, *ранжируются* по следующим иаиболее существеиным характеристикам (одиой или иескольким):

— количеству призиаков выполиеиия каждой задачи при разиых условиях деятельности,

— количеству возможиых вариаитов решеиия задачи при различиых условиях ее выполиеиия,

— достовериости ииформации, используемой при решеиии задачи,

— вероятиости появлеиия даииой задачи,

[5] Введение в эргономику. М., 1974, с. 131—135.

— логической или вычислительной сложности разрешения задачи и др.

4. Распределение оставшихся задач осуществляется по следующему принципу: задачи, разрешаемые с учетом многих признаков, имеющие много *вариантов решений,* отличающиеся высокой *неопределенностью* информации, незначительной *логической и вычислительной сложностью,* целесообразно предварительно поручать человеку. Задачи противоположных свойств возлагаются на машину. Принципы такого распределения были обоснованы в гл. I.

Поскольку возможности человека и машины обусловлены не только отдельными задачами, но и всей совокупностью возложенных на них заданий, то следует принимать во внимание и общую загрузку оператора и машины при избранном варианте распределения функций, учитывать возникающие при этом условия деятельности (особенно информационное обеспечение и пропускную способность информации). Степень загрузки оператора и машины в таких случаях проверяется посредством специального моделирования ожидаемых условий работы, попутно оцениваются и возможности машины по выполнению порученных ей функций. По результатам проверок осуществляется уточнение выбранного распределения.

Подобный метод распределения функций, как уже отмечалось, является лишь предварительным — он не определяет полностью окончательного варианта такого распределения, однако способствует сокращению поиска оптимального варианта. Блок-схема, иллюстрирующая описанную последовательность предварительного распределения функций между человеком и машиной, представлена на рис. 10.1.

Кроме качественных, существуют и *количественные методы* распределения функций. Один из таких методов основан на анализе и оценке возможностей системы выполнять возложенную на нее генеральную функцию (вытекающую из ее главного назначения)[6]. Для выполнения генеральной функции (задачи наиболее высокого уровня) должны быть выполнены частные задачи управления. Выполнение каждой частной задачи осуществляется посредством ряда блоков операций, каждый из которых включает в себя базисные операции (наименьшие наблюдаемые элементы деятельности оператора, элементарные технологические операции). Применительно к деятельности оператора рассматриваются еще более мелкие — психологические операции.

Таким образом удается разделить процесс разрешения системой генеральной задачи на ряд уровней: уровень частных задач, уровень блоков операций, уровень базисных и уровень психологических операций. Сущность рассматриваемого метода

---

[6] Там же, с. 135—140.

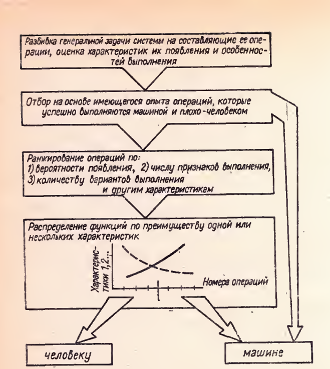



Рис. 10.1. Последовательность предварительиого распределения функций между человеком и машиной, основаииая иа пренмущественных возможностях.

заключается в аиализе распределеиия потоков частиых задач, потоков блоков операций между различиыми операторами, между каждым оператором и машииой, а также распределеиия потоков психологических операций в деятельиости операторов. При таком аиализе используется математический аппарат теории массового обслуживаиия, теории расписаиий, теории графов и др. По ходу аиализа оцеииваются показатели продолжительиости, точиости и иадежиости действия операторов и машииы в зависимости от потоков разрешаемых задач и операций. Даииые о целесообразиости выбраииого вариаита распределеиия фуикций определяются методами статистического моделироваиия иа цифровых вычислительиых машииах.

Описаииый метод может служить иллюстрацией примеиеиия системотехнического подхода к решеиию задач проектироваиия систем «человек—машииа». Правда, в даииом случае коиструктивиое решеиие выбирается только по критерию обеспечеиия иаилучшего результата решеиия системой геиеральиой задачи. Одиако в схему изложеииого анализа ие сложио включить и критерий стоимости системы, удовлетвореииости оператора и пр. В таком случае можио уже получить оцеику распределеиия

функций с точки зрения ее оптимальности по комплексу избранных критериев.

Кроме изложенного, существуют и другие количественные методы распределения функций между человеком и машиной, в основу которых положено сопоставление надежности, временных, информационных и других показателей работы человека и машины[7].

## X.2.3. ПРИНЦИП ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (АНТРОПОЦЕНТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД)

Применение системотехнического подхода к проектированию систем «человек—машина», как уже отмечалось, требует, чтобы показатели деятельности человека в системе управления были представлены в тех же категориях, в каких описывается работа машинных компонентов. В связи с данным требованием обнаруживается следующее противоречие: если удается описать действия человека при выполнении данной управляющей функции математически, то тем самым выявляется алгоритм этого действия и оно уже может быть автоматизировано, т. е. передано машине. При этом складывается парадоксальная ситуация: чтобы точно учесть «человеческий фактор», его функцию нужно описать количественно, но как только становится возможным такое описание, этот фактор уже перестает быть «человеческим». Это противоречие было выявлено Н. Джорданом (N. Jordan)[8] (1963), который указал на *необоснованность* самого *принципа сравнения или противопоставления человека и машины внутри одной системы.* Его точка зрения заключалась в том, что систему надо проектировать именно с позиции взаимодополнения человеком машины и машиной человека, а не исходя из распределения функций, т. е. не распределять функции, а *обеспечивать усиление функций.* Машина, собственно, всегда предназначалась для усиления и расширения функций человека, человек же, управляя машиной, должен способствовать усилению и максимальному использованию функций машины.

Таким образом, обнаруживается существенный недостаток всего подхода к проектированию систем на основе распределения функций: он не учитывает того важного положения, что человек и машина не просто совместно функционируют, а *машина выступает в качестве орудия труда человека.*

[7] Гринберг А. С., Евграфов В. Г. и др. Проектирование деятельности человека в СЧТ и оценка ее результатов по показателям эффективности и надежности. [Препринт доклада на IV Всесоюзной конференции по эффективности и надежности СЧТ]. Л., 1975. 19 с.

[8] Джордан Н. Распределение функций между человеком и машинами в автоматизированных системах. — В кн.: Инженерно-психологическое проектирование, вып. 1. М., 1970, с. 195—205.

Помимо указанных недостатков подхода к проектированию человеко-машинных систем на основе распределения функций, появились сомнения в принципиальной правомерности применения к таким системам самого метода системотехнического проектирования.

В. Я. Дубровский и Л. П. Щедровицкий[9] высказали мнение, что уже сама специфика человеческой деятельности препятствует тому, чтобы человек, с точки зрения принципов системотехники, мог рассматриваться как компонент системы. Если технический компонент системы правомерно расценивать как обычный преобразователь входных сигналов в выходные, то приложение такого подхода к человеку они считают неприемлемым. Свою точку зрения они обосновывают следующими аргументами. Человек является рефлексивным компонентом системы, отражающим в сознании как машинные компоненты, так и действие всей системы. Целью его деятельности является направление системы на заданный результат. К тому же действия человека оказываются обусловленными социальными, экономическими, политическими и многими другими мотивами, т. е., кроме обычных входных сигналов, у человека, как компонента системы, существует значительное количество отраженных в памяти, в его сознании данных, которые определяют выходные сигналы этого компонента.

Из этого положения делается заключение, что человека в принципе нельзя рассматривать как компонент системы, а поэтому методы системотехники в своей основе непригодны для проектирования систем «человек—машина». А поскольку распределение функций, как подход к проектированию, вытекает из системотехники, то весь этот подход в рассматриваемом случае признается несостоятельным. Помимо того, как было показано, в самой постановке проблемы распределения функций между человеком и машиной обнаруживаются и некоторые другие недостатки.

На основании этих положений В. Я. Дубровский и Л. П. Щедровицкий приходят к выводу о необходимости создания принципиально иного подхода к проектированию систем «человек—машина», который исходил бы из положения, что человек в системе управления не функционирует, подобно машинным компонентам, а действует в соответствии с целями и мотивами и вытекающими из них планами. Следовательно, систему «человек— машина» нужно расценивать как систему особого типа — как систему деятельности. Исходя из этого, авторы приходят к заключению, что следует *проектировать* не систему «человек—машина», а *систему деятельности человека-оператора.* Машина

---

[9] Дубровский В. Я., Щедровицкий Л. П. Проблемы системного инженерно-психологического проектирования. М., 1971, с. 92.

же должна рассматриваться только как орудие его труда, как средство, которое человек использует для достижения цели.

Подобный подход выдвигает требование разработки совершенно иного принципа проектирования человеко-машинных систем — принципа, согласно которому человек и его деятельность становятся центральным объектом проектирования, что определило его название — антропоцентрический[10]. При таком подходе вначале проектируется деятельность человека и вытекающие из нее функции и лишь после этого разрабатываются технические устройства как средства, орудия труда, обеспечивающие эффективное протекание сформированной деятельности и как ее результат — наиболее целесообразное использование системы для достижения заданных целей.

При всей целесообразности идеи антропоцентрического подхода, на пути ее практической реализации пока имеются существенные препятствия. Во-первых, данный принцип практически пока нельзя реализовать и он нуждается в разработке конкретных методов применения (возможно, для проектирования деятельности оператора потребуется создание специальной теории деятельности человека-оператора). Во-вторых, если бы и существовала методика проектирования деятельности оператора, она еще не решила бы до конца проблему проектирования технической части системы. На основе проекта деятельности оператора все равно необходимо будет создать проект машины, позволяющий воплотить в металле средства этой деятельности. Поэтому остается неразрешенным вопрос: как по заданному проекту деятельности строить адекватную этой деятельности машину?

Таким образом, из сопоставления двух принципов проектирования систем «человек—машина» можно заключить следующее. *Принцип распределения функций теоретически недостаточно обоснован;* используя его, трудно учесть некоторые важные особенности деятельности человека, однако он реализуется известными методами системотехнического проектирования и *имеет практическое приложение. Принцип же проектирования деятельности теоретически более обоснован, но пока еще практически не реализуется.*

Указывая на практическое превосходство принципа проектирования, основанного на системотехническом подходе, следует отметить, что и в теоретическом плане нет убедительных оснований считать его недостаточно пригодным для человеко-машинного проектирования. Единственное возражение против применения этого подхода было основано на своеобразии человека как компонента системы. Способность человека отражать состояние системы и, в зависимости от него, изменять свои характеристики, способность его руководствоваться заданной про-

[10] Бобнева М. И. Инженерная психология и дизайн. — В кн.: Вопросы технической эстетики, вып. 2. М., 1970, с. 254—302.

граммой, действительно, составляют своеобразие человеческого компонента. Однако в настоящее время созданы самоорганизующиеся машины, способные к воспроизведению адаптивного поведения, и разрабатываются методы системотехники, позволяющие учитывать при проектировании таких машин их способности к самоорганизации. Очевидно, подобные методы открывают возможности использования принципов системотехники и для приближенного учета некоторых способностей человека к саморегуляции в системе управления. Таким образом, нет оснований считать, что методы системотехники в принципе не применимы к системам «человек—машина».

Итак, имеется два подхода к проектированию системы «человек—машина»: подход распределения функций между ее компонентами, основанный на методах системотехники, и подход проектирования деятельности человека с последующим проектированием машины как средства труда. Следует отметить, что термин «проектирование деятельности» иногда используется в совершенно ином смысле[11]. Так, при описании процесса проектирования системы на основе распределения функций после этапов установления функций человека и проектирования технических средств выделяется этап «проектирования деятельности оператора» (вероятно, с точки зрения объединения его отдельных действий в нечто целое). В таком случае речь идет о проектировании деятельности оператора не до выбора средств, а уже по ранее выбранным для него средствам.

## X.3. СТАДИИ И ПРОЦЕДУРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ «ЧЕЛОВЕК—МАШИНА»

В настоящем параграфе будет показано, как практически последовательно, по процедурам, осуществляется проектирование системы «человек—машина». Наличие в рассматриваемой системе человека и отсутствие строгих априорных описаний его действий уже само по себе предопределяет своеобразие процесса проектирования подобных систем. В настоящее время они проектируются, как отмечалось, методами последовательных приближений, когда на каждом последующем шаге проектирования проверяется соответствие полученных результатов заданным требованиям и на основе подобных проверок вносятся коррективы в предшествующие шаги. Поэтому такой процесс проектирования определяют как *многопетлевую структуру с обратными связями,* гибко приспособленную к решаемым задачам на различных стадиях проектирования.

[11] Инженерная психология. Киев, 1976, с. 275—278.

Согласно государственным стандартам[12], проектирование систем «человек—машина» в наше время осуществляется посредством следующих обязательных этапов, отражающих цикличный характер этого процесса:

— стадия разработки технического задания,
— стадия разработки технического предложения,
— стадия разработки эскизного проекта.
— стадия разработки рабочей документации, включающей изготовление опытных образцов и их испытание.

Для рассмотрения указанных стадий проектирования и более стройного изложения последовательности его процедур с точки зрения участия в них инженерного психолога воспользуемся специально составленной с этих позиций структурной схемой[13] (рис. 10.2). На этой схеме процедуры, выполняемые на каждой стадии проектирования, ограничены нами пунктирными прямоугольниками. Заметим также, что все процедуры, связанные с действиями, решениями и оценками, представлены на схеме в виде прямоугольников, процедуры же составления описаний, спецификаций и перечней — в виде треугольников. При изложении процесса проектирования систем «человек—машина» будем опираться на отечественные[14] и зарубежные[15] материалы, отражающие практический опыт такого проектирования. При описании этого процесса названия отдельных блоков, отмеченных на схеме, будут выделяться в тексте курсивом.

**Стадия разработки технического задания**, заключающаяся в определении целей создаваемой системы и обосновании ее необходимости, является исходным этапом любого процесса системотехнического проектирования. Техническое задание для системы составляется на основании анализа данных, свидетельствующих о потребности в ней, а также сведений, полученных при эксплуатации аналогичных систем и в результате научно-исследовательских работ, показывающих тенденцию развития подобных систем и управляемых ими объектов. Для составления такого задания организуется сбор подробных данных об особенностях будущей системы, условиях ее работы и окружающей среде. На этой стадии четко формулируется назначение системы (*цели*, которых она должна достигать) и предъявляемые к ней требования.

Определяя техническое задание, проектировщики уже примерно ориентируются на определенное оборудование, при посредстве которого возможно достижение заданных целей. Здесь

---

[12] ГОСТ 2118—73, ГОСТ 2119—73, ГОСТ 2120—73.

[13] Сииглтон У. Прототип системы и проблема проектирования. — В кн.: Инженерно-психологическое проектирование. М., 1970, с. 206—216.

[14] Введение в эргономику. М., 1974, с. 265—273; Прохоров А. И., Смирнов Б. А. и др. Инженерно-психологическое проектирование АСУ. Киев, 1973. 165 с.

[15] Мейстер Д., Рабидо Дж. Инженерно-психологические оценки при разработке систем управления. М., 1970, с. 343.

инженерный психолог оценивает необходимость и степень участия человека в работе системы, примерный круг выполняемых им работ, условия предстоящей деятельности, примерное число операторов будущей системы. На основе всех этих данных разрабатывается соответствующая *спецификация* подробных требований, предъявляемых к системе, в которой указываются также количественные значения налагаемых на нее ограничений и условия, определяющие их выполнение. По каждому требованию проектировщик отмечает возможные пути его осуществления, а также преимущества и недостатки отдельных путей, исходя из эффективности системы, ее стоимости, временны́х затрат и т. п. В результате обсуждения такой спецификации в техническом задании выделяются наиболее приемлемые пути построения системы. При этом для учета и объединения большого числа факторов могут использоваться математические методы анализа операций.

На данной стадии определяется также профиль назначения системы — времена́я последовательность действий, реализующая генеральную целевую функцию системы. В этом профиле выделяются наиболее сложные и ответственные элементы, от выполнения которых особенно зависит реализация назначения системы.

**Стадия разработки технического предложения.** Исходными данными рассматриваемой стадии являются материалы технического задания. На основе этого документа, а также материалов об эксплуатации подобных систем, данных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ выделяются конкретные функции, которые надлежит выполнять будущей системе *(разделение функций)*. По каждой функции приводятся анализ, оценка степени ее сложности и требуемые показатели ее выполнения. При этом важно установить критерии, по которым можно судить о выполнении функции и его качестве. Подобные критерии задаются обычно в виде количественных оценок, с указанием допустимых отклонений.

Для анализа отдельных задач системы строятся специальные *функциональные схемы*, с указанием временно́й последовательности возникновения отдельных задач и времени, за которое они должны быть выполнены. На них отображается также характер поступающей информации, ее частота. По этим схемам представляется возможным предварительно судить о принципиальной целесообразности использования для выполнения отдельных задач человека или машины; по ним уточняется число операторов, общие данные о возможных рабочих местах, требования к оборудованию.

**Стадия разработки эскизного проекта.** Все рассмотренные выше процедуры можно расценивать как этап подготовки к разработке эскизного проекта системы «человек—машина», центральным вопросом которого является *распределение функ-*

*ций* между человеком и машиной. О процедурах, выполняемых для распределения функций, подробно говорилось в предыдущем параграфе. К этому можно добавить, что при обнаружении неучтенных ранее, однако существенных факторов используются специальные лабораторные инженерно-психологические исследования, а также эксперименты на макетах или действующих системах, подобных проектируемой.

После осуществления распределения функций возникает как бы два направления эскизного проектирования: подготовка данных для проектирования машинных компонентов и систематизация данных о «человеческом факторе». По первому направлению ведется *анализ* всего комплекса *задач, возлагаемых на машину,* и их взаимосвязи с точки зрения возможностей их совместного выполнения. В результате такого анализа приходится иногда пересматривать состав оборудования и осуществлять его выбор также с учетом всего комплекса машинных задач. Исходя из этих данных составляется *спецификация машинных компонентов*.

Для инженерного психолога наибольший интерес представляет второе направление, где изучаются задачи, поручаемые человеку. На основе объединения — *синтеза* — этих *задач* здесь требуется воссоздать примерную структуру деятельности оператора, установить возможные перекрытия отдельных задач и ожидаемые при этом перегрузки. Попутно приходится осуществлять и анализ некоторых задач с учетом ожидаемых условий их выполнения, связывая эти задачи с характеристиками машинных компонентов (средствами индикации, органами управления и вариантами их использования и т. п.). В результате такого анализа может потребоваться некоторая корректировка предварительного варианта распределения функций. После всех процедур анализа и синтеза задач человека осуществляется *описание* этих *задач*.

Порученные человеку функции соотносятся с его предполагаемыми возможностями путем *анализа навыков* оператора. При этом приходится принимать во внимание не только наличные навыки, но и возможности их развития в процессе практической деятельности. Хотя проектирование осуществляется в расчете на подготовленного оператора, при этом обычно стремятся также к созданию в системе таких технических условий, которые способствовали бы более быстрому вводу в строй начинающих операторов. На основе описаний задач оператора и анализа навыков составляется предварительная *спецификация работ*, которые ему надлежит выполнять в будущей системе.

Таким образом, на стадии эскизного проектирования дается обоснование принципиальных решений по распределению функций, по составу и конструкции машинных компонентов, а также по деятельности операторов.

**Стадия разработки технического проекта** является периодом

отработки и принятия окончательных технических решений на проектирование. На этой стадии осуществляется уже проектирование конкретных *машинных компонентов* системы. Инженерного психолога в этом периоде будут интересовать три главных вопроса проектирования:

— разработка элементов машины, с которыми непосредственно будет действовать человек, т. е. плоскости соприкосновения человека с машиной,

— отбор и обучение операторов,

— разработка вспомогательных средств, обеспечивающих лучшее взаимодействие оператора с оборудованием.

Кратко остановимся на каждом из этих вопросов и связанных с ними процедурах. К разработке *плоскости соприкосновения человека с машиной* проектировщики подходят, располагая предварительными спецификациями машинных компонентов и описаниями работ оператора, некоторыми алгоритмами его управляющих действий, данными о временно́й загрузке человека, об уровне сло́жности отдельных задач. На этом этапе инженерный психолог должен оценить, в какой мере оператор способен с помощью избранной аппаратуры выполнить все возложенные на него функции. Такие оценки даются как исходя из интуитивно-логических соображений, так и на основе специально проводимых экспериментов и испытаний. Рассматриваемая стадия является последней, где еще возможно свободно варьировать решениями и где их корректировки не связаны с существенными затратами. Поэтому подобным оценкам и проверкам на этой стадии проектирования придается большое значение.

Для проведения испытаний создаются специальные макеты, моделирующие отдельные задачи и условия деятельности оператора. Здесь используются статические макеты — объемные модели оборудования рабочего места оператора, выполненные в натуральную величину, на которых проверяется размещение и компоновка оборудования, его соответствие антропометрическим требованиям и задачам, решаемым оператором. Подобным образом удается не только обнаруживать ошибки и просчеты, допущенные на предшествующих стадиях проектирования, но и находить лучшие варианты решений.

Более полные оценки проектных решений даются при использовании функциональных макетов, изготовленных объемно и также в натуральную величину, но уже с действующим оборудованием. На таких макетах возможно проверить не только нормальные режимы работы оборудования и оператора, но и особые аварийные случаи. Кроме макетных испытаний, инженерный психолог проводит также лабораторные эксперименты, направленные на проверку отдельных технических решений и уточнение частных вопросов деятельности оператора в создаваемой системе.

Под проектированием *вспомогательных средств* понимается

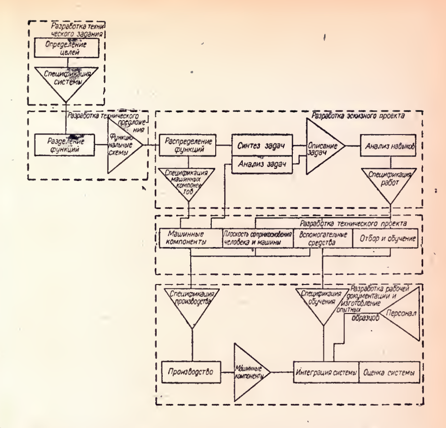



Рис. 10.2. Структурная схема процедур системотехнического проектирования систем «человек—машина» (по У. Синглтону с нашими дополнениями).

разработка специальных средств и методов, которые повышают эффективность взаимодействия человека с машиной в плоскости их соприкосновения. Такие средства могут быть непосредственно связаны с оборудованием и выступать в виде нанесенных на нем условных знаков или специальных описаний оборудования. Вспомогательные средства могут предназначаться и для сферы обучения, в том числе инструкции по управлению системой, учебные фильмы и другие пособия, способствующие лучшему приспособлению человека к данному оборудованию системы.

*Отбор* и *обучение* операторов рассматривается как составная часть проектирования системы. На основе сделанной ранее специфики работ, возлагаемых на оператора, а также данных, полученных уже в стадии разработки технического проекта, составляются профессиограммы и психограммы операторской

деятельности, по которым определяются критерии профессионального отбора, а также требования к обучению операторов.

**Стадия создания рабочей документации и опытных образцов** заключается в реализации проектных решений, принятых на предшествующей стадии. На основе технического проекта машинных компонентов системы, проекта плоскости соприкосновения человека и машины, а также вспомогательных средств разрабатывается *спецификация производства,* по которой уже создается рабочая документация для изготовления технического оборудования системы. На базе этой документации организуется *производство* первых опытных образцов машины и выпуск к ним соответствующих *технических описаний машинных компонентов.* На основе решений по профессиональному отбору и обучению, а также выбранных вспомогательных средств составляется *спецификация обучения* и организуется *отбор персонала.*

В данной стадии уже осуществляется *интеграция системы,* т. е. объединение в единое целое изготовленной и действующей машины со специально отобранным и обученным для ее управления персоналом операторов. Заключительным этапом этой стадии является *оценка системы* посредством специальных испытаний. Такие испытания проводятся в условиях, максимально приближенных к тем, в которых будет функционировать система. Если возможно, то опытные образцы проверяются непосредственно в реальных условиях применения системы при эксплуатационных, или т. н. «полевых», испытаниях. Однако часто такие условия вначале приходится создавать искусственно, посредством изготовления специальных систем, имитирующих оперативную обстановку работы системы. В выборе средств имитации большую роль играет инженерный психолог.

Эксплуатационные испытания, проводимые в реальных условиях применения системы, обычно охватывают все аспекты ее функционирования: проверку работы техники и оценку деятельности операторов в различных задачах и режимах, при различных условиях работы, с попутной проверкой системы связи, обеспечения, ремонта и т. д. При таких испытаниях оценивается соответствие системы как ее основному назначению, так и выполнению частных задач. Оцениваются специально действия оператора и показатели системы в аварийных ситуациях, вызванных отказами техники и оператора. В процессе эксплуатационных испытаний часто осуществляется также инструментальный контроль за показателями деятельности оператора и его состояниями.

Критериями оценок степени соответствия системы предъявляемым к ней требованиям, а также деятельности в ней оператора служат главным образом объективные показатели их функционирования. В тех случаях, когда подобные данные отсутствуют или нет количественных критериев их оценки, используются мнения специальных экспертов. Большое значение здесь прида-

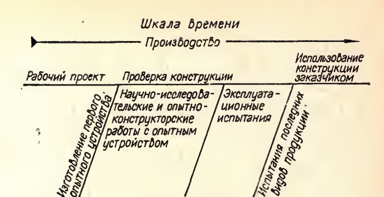



Рис. 10.3. Последовательность проверки конструкции в процессе разработки системы (по Д. Мейстеру и Дж. Рабидо).

ется экспертным оценкам операторов, непосредственно осуществляющих эксплуатационные испытания.

Все недостатки в работе оборудования и операторов, выявленные при испытаниях первых образцов системы, подвергаются здесь же, в условиях испытаний, детальному анализу, активное участие в котором принимает инженерный психолог. По каждому отмеченному недостатку вырабатываются специальные рекомендации, которые могут касаться и коррекции конструкции системы, и изменения методов обучения операторов, и уточнения инструкций, определяющих правила их работы.

После завершения эксплуатационных испытаний первых образцов проводятся специальные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по усовершенствованию системы с точки зрения устранения недостатков, выявленных при испытаниях. Попутно разрабатываются пути устранения обнаруженных недочетов по отбору и подготовке персонала операторов.

Последующие, уже усовершенствованные образцы системы подвергаются повторным эксплуатационным испытаниям, в которых принимают участие операторы, подготовленные с учетом ранее отмеченных недостатков в обучении и отборе, и так процесс корректировки проектных решений продолжается до тех пор, пока система не будет отвечать ее назначению и удовлетворять предъявляемым к ней требованиям. После разрешения всех этих задач начинается серийный выпуск систем, которые затем поступают к заказчику для их практического применения. Временно́й график последней стадии проектирования — от разработки рабочей документации до передачи системы заказчику (по Д. Мейстеру и Дж. Рабидо) — представлен на рис. 10.3.

Характерной особенностью создания системы «человек—машина» является тот факт, что после формального завершения процесса ее проектирования, в условиях практического применения — эксплуатации — продолжается *«доводка»* такой системы. Это обусловлено целым рядом причин.

Во-первых, при ее проектировании отсутствовали строгие алгоритмические описания «человеческого фактора», а в процессе сравнительно кратковременных эксплуатационных испытаний системы уточнить все эти характеристики, как правило, полностью не удается. Во-вторых, в процессе эксплуатации происходит развитие системы: изменяются отдельные ее характеристики и связи в машинных компонентах (в результате приработки, износа и пр.), с приобретением новых навыков, накоплением опыта изменяются и операторы. И хотя эти обстоятельства пытаются прогнозировать и учитывать в проекте, однако, из-за отсутствия точных методов создания подобных прогнозов, эти расчеты приходится корректировать. В-третьих, уже в самом процессе эксплуатации системы иногда выявляются такие сведения, которые нельзя практически получить в процессе проектирования. В частности, нельзя предвидеть все варианты возможных нарушений в работе техники, варианты ошибок операторов. А в отдельных системах, специально предназначенных для добывания новой информации (например, в системах пилотируемых космических кораблей), такие данные в принципе не могут быть учтены в процессе проектирования. В-четвертых, методы отбора и обучения операторов, принятые в расчет при проектировании, на основе опыта практического применения системы, также обычно приходится уточнять и корректировать. Все эти причины и создают необходимость *корректировки уже в серийных системах ранее принятых проектных решений.*

Следует подчеркнуть, что в процессе такой «доводки» особенно велика роль инженерного психолога. Все несоответствия и недостатки в работе системы, обнаруженные в процессе ее эксплуатации, в каждом случае приходится анализировать с позиций: являются ли их первопричиной машинные компоненты или человек. И те случаи, когда нарушения в работе системы возникают по вине оператора, специально изучаются инженерным психологом. Важным направлением в его работе является и анализ деятельности оператора в условиях отказов техники. Поэтому инженерному психологу приходится, с одной стороны, анализировать причины ошибок операторов и пути их предупреждения, обнаружения, с другой — исследовать возможности операторов прогнозировать в процессе управления отказы техники, предупреждать их, парировать и избегать при этом опасных последствий. Ему приходится также изучать влияние эксплуатационных факторов на функциональное состояние операторов и их деятельность. Большинство недостатков оборудования системы и обучения операторов, выявленных в процессе практического примене-

ния системы, обычно устраняется непосредственно в условиях эксплуатации. Однако отдельные недостатки могут требовать корректировки проектных решений, вплоть до перераспределения функций между человеком и машиной, со всеми вытекающими отсюда процедурами.

В ходе практического применения человеко-машинной системы выявляются и новые, более целесообразные алгоритмы управляющих действий оператора. На это обстоятельство обращает внимание работающий в области инженерной психологии известный летчик-испытатель М. Л. Галлай [16]. Он показывает на практических примерах, что за счет выявления таких алгоритмов и их использования возможно упростить подготовку операторов: при новом способе действий и операторы с меньшей квалификацией, с меньшим опытом работы могут достигать требуемого уровня эффективности применения системы. Таким образом, выявление новых связей и закономерностей в работе системы выступает как средство, позволяющее снизить уровень требований к качествам оператора — упростить их отбор, ускорить подготовку. Подобные новые алгоритмы управления удается выявлять обычно в процессе технической эксплуатации систем с накоплением опыта их применения. Следовательно, *в нахождении новых, более целесообразных алгоритмов действия* оператора заключается также *процесс усовершенствования и «доводки» системы* в ходе ее практического применения.

В связи с высказанной мыслью о выявлении в сфере обучения путей, облегчающих подготовку операторов, следует отметить, что и нахождение обоснованных с позиций инженерной психологии технических решений, кроме всего прочего, также способствует снижению требований к качествам кандидатов на операторские должности.

Итак, как видно из сказанного, процесс проектирования систем «человек—машина» фактически распространяется и на стадию их эксплуатации, охватывая большой период от зарождения планов создания такой системы и их оформления в виде технического задания и вплоть до доводки серийной системы в ходе ее практического применения. На всех стадиях в проектировании таких систем принимает участие инженерный психолог. Его деятельность, как показывают Д. Мейстер и Дж. Рабидо, простирается от логического анализа чертежей и лабораторных экспериментов до участия в эксплуатации серийных систем; от использования интуитивных соображений и субъективных суждений до применения сложных математических моделей и строгих экспериментальных методик.

---

[16] Галлай М. Л. Об одном направлении оптимизации систем управления с участием человека. — В кн.: Авиационная эргономика, № 1. Киев, 1975, с. 93—97.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, мы завершили изложение курса инженерной психологии. Оглядываясь назад и обобщая сказанное, выделим ряд наиболее существенных положений, которые красной нитью прошли через все главы данного курса.

При его изложении мы старались отойти от утвердившегося в инженерной психологии лабораторно-фрагментарного подхода к изучению деятельности человека-оператора и рассматривать его отдельные действия, отдельные задачи в связи со всей его целенаправленной деятельностью по применению техники для достижения требуемых результатов.

Для этого была использована теория предметной деятельности, которая наиболее соответствует избранному подходу и позволяет анализировать работу человека-оператора и его взаимодействие с управляемой им техникой как с учетом целей оператора, заданных условий и требований, предъявляемых к его деятельности, так и с учетом возможностей человека по ее осуществлению.

Реализация такого подхода в данном курсе осуществляется путем выделения в деятельности оператора круга внешних — технических ограничений (по своевременности и точности действий), налагаемых на него требованиями и условиями задачи, а также круга внутренних — психофизиологических ограничений (по тем же показателям), вытекающих из индивидуальных возможностей человека. При рассмотрении психических процессов и отдельных показателей деятельности оператора в связи с указанными ограничениями представляется возможным осуществлять системный анализ этой деятельности, учитывая и характеристики человека, и параметры техники, и те задачи, которые он решает с помощью данной техники.

Другой существенной особенностью настоящего курса является рассмотрение психических процессов и показателей деятельности оператора с учетом саморегуляции. Этой стороне деятельности оператора в инженерной психологии ранее уделялось мало внимания. Для удобства изложения и анализа данного круга вопросов здесь были условно выделены две сферы саморегуля-

ции: одна — базирующаяся на энергетических процессах (вытекающих из физиологических изменений организма), другая — на информационных. На основе теоретических положений, экспериментов и практических примеров было показано, что для инженерной психологии важна не только сфера информационных процессов (которая ранее здесь главным образом и изучалась), но и сфера энергетических процессов, вытекающих из эмоциональных проявлений оператора. Поэтому в данном курсе было уделено большое внимание и этим проявлениям. Через все его главы прошло понятие значимости, которым определялись эмоциональные реакции оператора на отдельные сообщения, действия, задачи, индикаторы, средства управления. Понятие значимости, как было показано, является не только полезным инструментом психологического анализа, позволяющим связывать отдельные действия оператора с разрешаемой задачей, но также и средством, дающим возможность учитывать субъективные особенности изучаемой деятельности и, что весьма важно, ее мотивационный аспект. Возможности же количественной интерпретации этого понятия делают его особенно ценным для инженерной психологии.

Следующей важной мыслью, прошедшей через все изложение данного курса, явилось положение о том, что изучение и оценки деятельности оператора должны вестись не только с точки зрения его потенциальных возможностей, но и с учетом того факта, что оператор далеко не всегда использует эти возможности. Было показано, что путь к разрешению вопроса, в какой мере оператор будет использовать свои возможности для достижения заданной цели, лежит через установление степени значимости для него этих целей и связанных с их достижением задач. Поэтому изучение причин запоздалых или неточных действий оператора, причин недостаточной надежности или эффективности его работы следует вести не только путем анализа его информационных процессов, но и путем выявления значимости для данного оператора этих действий и степени адекватности этих мер реальным условиям задачи.

Значительное внимание в настоящем курсе уделено вопросам адаптации человека-оператора. Было показано, что это качество проявляется на всех уровнях его психической деятельности в системе управления. Так, оператор приспосабливается к восприятию поступающей информации, к ее переработке, выполнению на ее основе управляющих действий, причем приспосабливается тонко, гибко на различных уровнях и этапах каждого из этих процессов. С накоплением опыта у оператора происходит трансформация его отдельных управляющих действий в соответствующие операции и он приобретает способность к одномоментному их выполнению. Было показано, что происходит адаптация оператора и к выполнению целых задач управления и именно исходя из требований этих задач (а не отдельных характеристик

индикаторов или органов управления) он организует свою деятельность — ее скоростные и точностные показатели, использует информационные и энергетические резервы. Было также установлено, что человеку-оператору свойственно адаптироваться и ко всей выполняемой деятельности, в соответствии с индивидуальными возможностями и ее внешними условиями, вырабатывая свой индивидуальный стиль. Более того, человек-оператор оказывается способным успешно адаптироваться и к нарушениям условий деятельности и, как истинно «целеустремленная» система, изыскивать при этом оптимальные пути достижения цели. Таким образом, у оператора обнаруживается ярко выраженная тенденция к целесообразному приспособлению к управляемой технике и целесообразному использованию ее для достижения заданной цели, вопреки возникающим препятствиям. Подобное произвольное и непроизвольное приспособление человека к технике идет встречно тенденции приспособления техники к возможностям и задачам человека-оператора, которую преследует всем своим существом инженерная психология. Отсюда следует еще одно важное положение о том, что в инженерно-психологических исследованиях и мероприятиях должна учитываться свойственная оператору тенденция адаптироваться к технике и к задачам, решаемым при ее посредстве.

Таковы особенности и основные идеи настоящей книги, на которые мы хотели бы обратить внимание читателя. Представление предмета инженерной психологии с указанных позиций в виде единой организованной системы знаний являлось главной целью данного учебного курса.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Михаил Аркадьевич Котик. Курс инженерной психологии. Изд. 2-е, испр. и доп. На русском языке. Художник-оформитель В. Ершов. Таллин, «Валгус». Редактор Р. Лаане. Художественный редактор Р. Эйлсен. Технический редактор А. Вярв. Корректор О. Кюла.

ИБ № 3

Сдано в набор 8. 12. 77. Подписано к печати 8. 12. 78. МВ-10106. Формат 60×90/16. Печатная бумага № 2. Шрифт: литературная. Высокая печать. Условно-издательских листов 22,75. Учетно-издательских листов 23,99. Тираж 25 000 экз. Заказ № 2149. Цена руб. 1.10.

Издательство «Валгус», Таллин, Пярнуское шоссе, 10. Типография «Юхисэлу», Таллин, ул. Пикк, 40/42.